

# DER LEBENSLAUF DER PLANETEN

Von

SVANTE ARRHENIUS

Nach der 4. Auflage  
der schwedischen Originalausgabe übersetzt von  
Dr. B. Finkelstein

Mit 28 Abbildungen



Leipzig.  
Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H.  
1919.

Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. in Leipzig

Werke von  
**SVANTE ARRHENIUS:**

**Das Werden der Welten**

Mit 60 Abbildungen im Text.

Preis: geheftet M. 6.—, gebunden M. 9.—.

Behandelt in fesselnder Darstellung hochinteressante astronomische und geographische Fragen des Weltalls, ausgehend von vulkanischen Erscheinungen der jüngsten Zeit.

**Die Vorstellung  
vom Weltgebäude  
im Wandel der Zeiten  
(Das Werden der Welten, Neue Folge)**

Mit 28 Abbildungen im Text.

Preis: geheftet M. 6.—, gebunden M. 9.—.

Eine Fortsetzung und notwendige Ergänzung des „Werden der Welten“, die in reizvoller historischer Zusammenstellung alte und neue Ansichten über die Weltanschauung beleuchtet. Trotzdem sind beide Bände vollständig in sich abgeschlossen.

Beide Teile in einem Band: geh. M. 12.—, geb. M. 16.—.

Durch hunderte von Besprechungen sind diese beiden Werke als beste Erscheinungen der populär-wissenschaftlichen Literatur anerkannt.

**Theorien der Chemie**

2. Aufl. Preis: geheftet M. 9.—, gebunden M. 11.—.

... eine originelle und stets interessante Zusammenstellung durch eine bedeutende Persönlichkeit, die für die Entwicklung der allgemeinen Chemie als Forscher und Lehrer von weittragender Bedeutung gewesen ist. („Fortschritte der Chemie.“)

Zu beziehen durch alle Buchhandlungen oder direkt vom Verlag  
**Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. in Leipzig.**

Paul Dönnhaupt, Cöthen i. A.

## Vorwort.

Seit der Herausgabe meiner beiden Schriften: „Das Werden der Welten“ und „Die Vorstellung vom Weltgebäude im Wandel der Zeiten“, die mit einem Wohlwollen und einem Interesse entgegengenommen worden sind, wie ich es kaum erwarten zu dürfen glaubte, habe ich des öfteren Veranlassung gehabt, neue, in die Kosmogonie fallende Fragen zu bearbeiten, die größtenteils durch neue Beobachtungen und Entdeckungen auf astronomischem Gebiet angeregt worden sind. Neue weite Ausblicke wurden eröffnet durch das Studium der Beziehungen der Sterne zur Milchstraße und durch Beobachtungen unserer benachbarten Planeten. Die letzteren liefern deutliche Hinweise auf den Entwicklungsgang der Planeten, aus denen auch auf das wechselnde Schicksal der Erde und ihren dereinstigen Zustand geschlossen werden darf. Über dieses Thema, das den Inhalt des größten Teiles der hier gegebenen Abhandlungen bildet, habe ich schon früher (1911) eine kleine Schrift in deutscher Sprache unter dem gleichen Titel veröffentlicht. Da aber die Entstehung des Sonnensystems aus den Nebeln der Milchstraße, worüber ich im Inlande wie im Auslande an mehreren Orten Vorträge gehalten und 1912 eine Abhandlung bei der Akademie der Wissenschaften eingereicht habe, auch als die Vorgeschichte der Planeten angesehen werden kann, so habe ich für die vorliegende Sammlung



#### IV

kosmogonischer Aufsätze den gemeinschaftlichen Titel: „Das Schicksal der Planeten“ beibehalten. Als Einleitung habe ich einen vor dem vierten internationalen philosophischen Kongreß in Bologna im Jahre 1911 gehaltenen Vortrag über den Ursprung der Sternanbetung vorausgeschickt.

In der Hoffnung, daß das vorliegende Büchlein in wesentlichem Maße die Lücken in den vorangegangenen Arbeiten ausfüllen wird, übergebe ich es der Öffentlichkeit in deutschem Gewande.

Stockholm, 1918.

Der Verfasser.

Hingewiesen sei bei dieser Gelegenheit auf die im gleichen Verlag erschienene Schrift:

### Kometen und Elektronen

Von Prof. Aug. Righi.

Geheftet M. 2.90, gebunden M. 4.—.

. . . Righi untersucht das Kometenproblem vom Standpunkt des Physikers aus und spricht über die Erscheinungen, die ihren Sitz in den Kometen haben, und die durch Kometen an anderen Himmelskörpern, besonders an unserer Erde erregt werden können. Die sehr wichtige Schrift wird jedem, der sich für diese Fragen interessiert, ihrer klaren und ruhigen Darstellung wegen willkommen sein.

(„Kosmos.“)

## Inhaltsverzeichnis.

### Kapitel I. Der Ursprung der Sternanbetung . . . . . 1

Die Stellung und praktische Bedeutung der Astronomie 1. - Die Anbetung der Sterne 2. - Zeitrechnung 3. - Die Vorstellung der Australneger von den Sternen 4. - Tag und Nacht, Sommer und Winter: Das Sonnenjahr 5. - Sonnenanbetung 5. - Die Lichtwechsel des Mondes zur Zeitmessung geeignet 9. - Das „Tonalamatl“ der Mexikaner 9. - Die Mondanbetung in Mesopotamien 10. - Die Bedeutung des Mondes in der Astrologie 11. - Die Sonne und die Hitze 12. - Der Anspruch des Ackerbaues auf eine Zeitrechnung 13. - Die Anbetung der Venus bei den Mexikanern und Babyloniern 15. - Der kirchliche Kalender 17. - Der Tierkreis 17. - Die sieben Planeten 17. - Die Einteilung in Wochen 18. - Die Korrespondenz- und Sympathielehre 19. - Die Platonisch-Aristotelische Philosophie 19. - Astrologie und Alchemie 20. - Tycho Brahe 20. - Occulte Wissenschaften 20. - Aristarchos von Samos 21. - Kopernikus 21. - Der Fortschritt der Astronomie 22.

### Kapitel II. Das Rätsel der Milchstraße . . . . . 24

Die Ansicht der Naturvölker über die Milchstraße 24. - - Anaxagoras und Demokritos 25. - Ptolemaios 25. - - Galilei 25. - - Kosmogonische Spekulationen 25. - - William Herschels statistische Untersuchungen über die Verteilung der Sterne 25. - Die Milchstraße als Grundfeste des Sternsystems 25. - Die Milchstraße ein kosmischer Nebel 27. - Verschiedene Altersklassen unter den Sternen, deren Verteilung und Bewegungsgeschwindigkeit 27. - Die Bewegung im Orionnebel 30. - Die planetarischen Nebel 31. - Kapteyns Stern-

## VI

gruppen 34. — Der Ursprung der Milchstraße 36. —  
Vergleichung der Milchstraße mit dem Spiralnebel in den  
Jagdhunden 39. — Einige Einzelheiten der Milchstraße 41.  
-- Das unendlich Große und das unendlich Kleine 45. —  
Die Größe der Milchstraße und ihr Schicksal 46.

### Kapitel III. Die klimatische Bedeutung des Wasserdampfes

51

Die vier Elemente des Aristoteles 51. — Feucht-  
warmes Klima 52. — Kongo und Amazonasgebiet 52. —  
Die Steinkohlenzeit 53. — Die Wirkung der Bewölkung  
54. -- Das Wüstenklima 55. — Die Steppen 56. — Kevire  
und Bajire 57. — Sanddünen 59. — Der große Kevir 59.  
-- Khanikoffs Schilderung 61. — Salzseen 62. —  
Bildung von Salzlagern durch Verdunstung 63. —  
Huntington über die Austrocknung der Erde 63. —  
Feuchtigkeitsperiode während der Eiszeit 63. — Die Ver-  
änderlichkeit des Klimas während der historischen Zeit  
65. -- Afrika, Asien 65. -- Italien, Griechenland 65. —  
Sizilien 66. — Das westeuropäische Klima ist mehr  
maritim geworden 67. — Die gegenwärtigen Verhältnisse  
68. -- Bewässerung 70.

### Kapitel IV. Die Atmosphäre der Himmelskörper und ihre physikalische Beschaffenheit . . . . .

71

Die äußere Hülle der Sterne 71. — Die großen  
Planeten 72. — Spektra des Mars, der Erde, der Venus  
und des Merkur 76. — Eine Atmosphäre auf dem Monde  
unmöglich 76. -- Der Luftkreis des Merkur 80. — Der  
Luftkreis der Venus mit seinen Wolken 80. — Der Luft-  
kreis des Mars 81. -- Das Licht der Erde 81. -- Die Zu-  
sammensetzung der Luft 84. -- Ihre Änderung mit der  
Höhe 85. -- Die Durchmischung 87. — Die Troposphäre  
und die Stratosphäre 87. — Wasserstoff in den höchsten  
Luftschichten 88. — Wasserdampf und Kohlensäure in  
der Luft 90. — Geokoronium 90. — Der Einfluß der  
Schwere auf die Zusammensetzung der Luft 91. — Die  
Luft auf der Venus und auf dem Mars 92.

### Kapitel V. Die Chemie der Atmosphäre . . . . .

94

Bewohnte Welten 94. — Die Verwandtschaft der  
Himmelskörper 95. -- Möglichkeit von Leben 96. — Die  
Bedeutung des Wassers und des Kohlenstoffs 96. — Ein-

fluß der Temperatur 96. — Alles Leben ist im Wasser entstanden 96. — Notwendigkeit des Sauerstoffs 97. — Die Bakterien 97. — Reduzierende Stoffe sind in der Weltenmasse überwiegend 97. — Die Vulkangase und die Gase in den erstarrten Lavamassen 98. — Wasserdampf, Kohlensäure, Stickstoff und schweflige Säure 98. — Edelgase und Stickstoff 101. — Giftigkeit der ursprünglichen Luft 101. — Ihre Reinigung 101. — Die Bedeutung der Pflanzen in dieser Hinsicht 101. — Das Vorhandensein einer festen Erdrinde 102. — Bedingung für die Reinigung 102. — Zuführung der Kohlensäure und Erzeugung von Sauerstoff 102. — Kocnes Arbeiten 103. — Die Kieselsäure 103. — Die Abkühlung der Erde und die Änderung ihrer äußern Temperatur 104. — Die Eiszeiten 104. — Einsturzzentren und Spaltungslinien der Erdrinde 105. — Allgemeine Übersicht über die allmählich fortschreitende Veränderung der Luft 106.

## Kapitel VI. Der Planet Mars . . . . . 108

Der Streit über die Bewohnbarkeit des Mars 108. — Die Feuchtigkeits auf dem Mars 109. — Ältere Beobachtungen 109. — Vergleichung des Marsspektrums mit dem Mondspektrum 109. — Campbells und Marchands Untersuchungen 110. — Lowells Arbeiten 111. — Sliphers Messungen 111. — Verrys Berechnungen und die aus letzteren abzuleitende Temperatur auf dem Mars 111. — Campbells Expedition auf den Mount Whitney in Kalifornien 113. — Sauerstoff auf dem Mars 113. — Die Kälte auf dem Mars gestattet nur das Dasein aller-niedrigster Organismen 114. — Der Grund der Verschiedenheit der Resultate von Campbell und Slipher 115. — Verrys Antwort auf Campbells Kritik 116. — Neue Messungen von Slipher 116. — Campbells neue Messungsmethode von 1910 116. — Christiansens Berechnung der Marstemperatur aus der Stärke der Sonnenbestrahlung 118. — Die Sonnenkonstante 118. — Die mittlere Temperatur auf dem Mars ungefähr  $-40^{\circ}$  C. 118. — Möglichkeit der Existenz niedriger Pflanzen an den Polen während des Sommers 119. — Die Kanäle auf dem Mars sind wahrscheinlich Risse in seiner festen Rinde 120. — Die Länge der Marskanäle mit derjenigen der Erdrindenrisse verglichen 120. — Vergleichung der Doppelkanäle des Mars mit den Parallelrissen in

## VIII

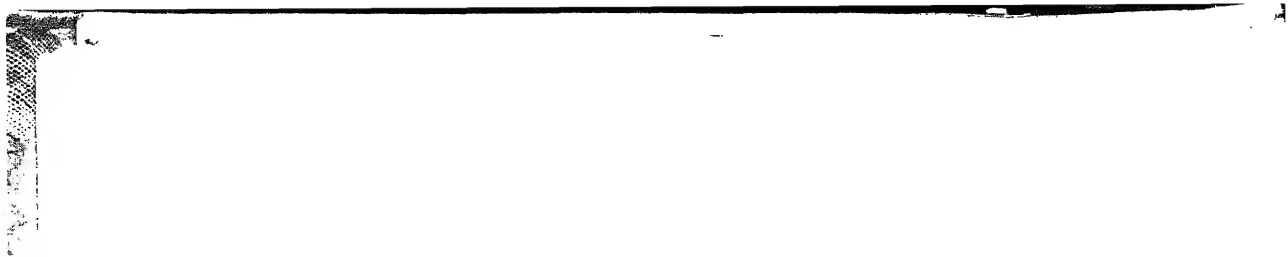
Calabrien 123. — Dunstausströmungen aus den Rissen 123. — Die Kanäle bei steigender Kälte und steigender Wärme 124. — Der Polarschnee 125. — Das Auftauen der Kanäle 127. — Die Fortbewegung des Wasserdampfes unabhängig von der Bodengestaltung 127. — Wüstensand auf dem Mars 128. — Wolken und Nebel 130. — Hochland und Berge auf dem Mars 130. — Die Versandung der Kanäle 132. — Das Meer auf dem Mars 132. — Die Geradlinigkeit und gleichmäßige Breite der Marskanäle sind eine Einbildung 133. — Helle und dunkle Flecke 135. — Neue Kanäle 135. — Lowells Phantasien 136.

### Kapitel VII. Merkur, Mond und Venus . . . . . 138

Verwerfungsrisse auf dem Merkur 138. — Lowells Zeichnung. Zentrale Einsturzstelle 139. — Abwesenheit einer Lufthülle 139. — Berge, wie auf dem Monde 139. — Das Klima auf dem Merkur 140. — Das Klima auf dem Monde 141. — W. Pickerings Glaube an Reifbildung auf dem Monde 141. — Die Berge des Mondes 141. — Vulkane, Ringwälle, „Meere“ auf dem Monde 143. — Der Krater Linné 145. — Die „Strahlen“ auf dem Monde 146. — Die helle Masse in den Strahlen wahrscheinlich Lava-schaum 149. — Die Farbe des Mondes und der Erde 150. — Vergleichung von Mond mit dem Mars 151. — Veränderungen auf dem Monde 151. — „Schnee“ und Pflanzen auf dem Monde nach W. Pickering 152. — Die dereinstige Verwüstung des Mars und der Erde 153. — Einfallender Meteorstaub 154. — Das Klima auf der Venus 154. — Sumpfgegenden denen der Steinkohlenzeit ähnlich 155. — Niedrige Organismen 155. — Eine Kultur auf der Venus kann von den Polargegenden ausgehen 156. — Die Zukunft der Venus 156. — Die Behauptung der Astrologie in moderner Beleuchtung 156. — Tycho Brahe 156. — Giordano Brunos Träume wahrscheinlich zutreffend 157.

## Verzeichnis der Abbildungen.

1. Halsband eines assyrischen Königs . . . . .	16
2. Die Milchstraße nach Easton . . . . .	26
3. Cocon-Nebel im Schwan, nach M. Wolf . . . . .	33
4. Spiralnebel 51 in Messiers Katalog . . . . .	38
5. Die Milchstraße zwischen der Cassiopeja und dem Schwan, nach M. Wolf . . . . .	40
6. Die Milchstraße im Adler und Schild, nach M. Wolf . . . .	41
7. Die dreigeteilte Höhle im Adler, nach M. Wolf . . . . .	43
8. Der Tarimfluß mit den Seen und Bajirs, nach Sven Hedin . .	58
9. Der ehemalige See Lake Bonneville in Utah . . . . .	64
10. Der Planet Jupiter 1909, nach F. le Coultre . . . . .	73
11. Der Planet Saturn 1909, nach F. le Coultre . . . . .	74
12. Spektra der großen Planeten, nach V. M. Sliplier . . . . .	76
13. Der Planet Venus 1882 nach der Beobachtung von Langley . . . . .	83
14. Berggrisse auf Segelskär bei Hangö, nach J. J. Sederholm . .	121
15. Erdbebengebiete in Calabrien, nach J. J. Sederholm . . . .	122
16 u. 16a. Marskarten von Schiaparelli und Antoniadi, am Schluß des Buches.	
17. Photographie des Mars, nach Lampland . . . . .	126
18. Mars am 8. April 1907, nach Quénisset . . . . .	126
19. Südpolarfleck auf dem Mars 1909, nach Jarry Desloges . .	126
20. Erscheinung des Mars 1909, nach Antoniadi . . . . .	128
21. Wolke am Marsrand am 7. März 1901, nach Molesworth . .	130
22. Mars am 11. Juli 1907, nach Lowell . . . . .	130
23. Mars am 6. Oktober 1909, nach Antoniadi . . . . .	131
24. Der Merkur nach Lowell . . . . .	140
25. Gegend, Nähe des Mondspüdpols, fotogr. Aufnahme der Yerkes-Sternwarte . . . . .	142
26. Das Mare Serenitatis und das Mare Tranquillitatis, phogr. Aufnahme der Yerkes-Sternwarte . . . . .	144
27. Die Umgebung des Kraters Tycho auf dem Monde, phogr. Aufnahme der Yerkes-Sternwarte . . . . .	147
28. Der große Mondkrater Kopernikus mit Umgebung, phogr. Aufnahme der Yerkes-Sternwarte . . . . .	148



## Kapitel I.

# Der Ursprung der Sternverehrung.

Die Astronomie erfreut sich bei den meisten Menschen nicht der gleichen Wertschätzung wie die anderen Naturwissenschaften, die als Grundlagen unserer hoch entwickelten materiellen Kultur anerkannt werden, wie die Physik, Chemie und die biologischen Disziplinen. Was nützt es zu wissen, daß irgend ein Stern hundert oder tausend Billionen Meilen von der Sonne entfernt ist, oder wie die Himmelskörper sich im Laufe von Jahrbillionen herausgebildet haben? Indessen, die Astronomie ist praktisch nicht so ohne Nutzen gewesen, wie man sich's vorstellt, und ist es auch gegenwärtig nicht. Sie ist durch die Zeitbestimmung von großer Bedeutung für das bürgerliche Leben geworden. Lange vor Einführung des Kompasses hat sie die Bestimmung der Himmelsrichtungen gelehrt, und noch jetzt bedient sich ihrer der Seefahrer zur Ortsbestimmung auf dem offenen Meere. Allerdings sind die dazu erforderlichen Messungen so einfacher Art, daß man nicht geneigt ist, sie als einer höhern Wissenschaft zugehörig, sondern vielmehr als praktische Kunst zu betrachten. Sie sind in den Gebrauch des täglichen Lebens eingegangen, wie das Wägen der Ware im Handelsverkehr, das ja nicht im geringsten als wissenschaftliches Tun angesehen wird, obwohl es die Anwendung eines physikalischen Instruments, der Wage, voraussetzt.



Wir dürfen nicht vergessen, daß manches, was uns alltäglich geworden ist und woran wir das wissenschaftliche Gepräge nicht mehr wahrnehmen, dereinst ein Ziel für die heraufdämmernde Wissenschaft gewesen ist. Alle Naturwissenschaft ist aus den Bedürfnissen des praktischen Lebens hervorgegangen.

Noch älter als die Astronomie ist wahrscheinlich die Geometrie. Ihr Name bedeutet „Erdmessung“ und, dem entsprechend, befaßte sich die älteste Geometrie mit der Ausmittlung von Entfernungen auf der Erdoberfläche, späterhin mit der Vermessung der Ländereien. Diese äußerst wichtige, praktische Anwendung der Geometrie ist so einfach, daß in der modernen mathematischen Wissenschaft keine Rede mehr davon ist, obwohl die Geometrie einen Teil derselben bildet. Und so sind auch die ursprünglichen Bestandteile aller Naturwissenschaften in den Gemeinbesitz der Menschen übergegangen und erscheinen ihnen so selbstverständlich wie jene uralten Errungenschaften, aus denen die Astronomie erstanden ist.

Gleich allem andern tieferen Wissen verblieb auch die aufsprießende Kenntnis von den Gestirnen bei den Naturvölkern im ausschließlichen, geheimgehaltenen Besitz einer auserwählten Minderheit und wurde in den religiösen Kultus hineinverwebt. Bei der Mehrzahl der alten Völker findet man die Verehrung der Gestirne als der Beherrscher des menschlichen Schicksals. Das mag schwer erklärlich erscheinen, da doch die tägliche Erfahrung lehrt und die Wissenschaften unserer Tage, die eine systematische Zusammenfassung aller Erfahrungen sind, bestätigen, daß die Himmelskörper, mit Ausnahme der Sonne, keinen merklichen Einfluß auf die belebte Natur haben. Mit Ausnahme der Sonne, wie gesagt, die die ganze Natur, die lebendige wie die tote, durch die reiche Ausstrahlung von Licht und Wärme beherrscht. Es ist möglich, daß auch der Mond nicht ganz wirkungslos ist, da er einigen Einfluß auf den Luftdruck und den magnetischen und besonders den elek-

trischen Zustand der Erde zu haben scheint, wodurch möglicherweise verschiedene Erscheinungen im Lebensvorgang angeregt werden. Alle übrigen Himmelskörper haben keinen nachweisbaren Einfluß auf die Natur.

Die Menschen wandten ihre Gedanken selbstverständlich zunächst nur dem zu, was ihnen schadete oder nützte, und da man glaubte, daß alles von mit Willen begabten Geistern beherrscht werde, so versuchte der Naturmensch, diese Geister, die er fürchtete, durch Opfer oder Beschwörungen zu bewegen oder zu zwingen, von ihrem schädlichen Tun abzulassen. In den Raubtieren und besonders in den Schlangen wohnten solche Geister, und hinter jedem Naturereignis, hinter Erdbeben, vulkanischen Ausbrüchen, Schneestürmen, Gewittern, Wolkenbrüchen, Überschwemmungen, Dürre, Hitze, Feuersbrünsten — überall wurden welche vermutet, und man suchte sich durch religiöse Handlungen vor ihnen zu schützen. Die Religion beruhte hauptsächlich auf der Furcht vor Geistern. Erst später begann man auch hinter den nützlichen Naturerscheinungen und Dingen gute Geister zu vermuten, und man brachte ihnen Dankopfer und Lobgesänge dar.

Es ist klar, daß dieser ursprüngliche einfache Glaube weit älter ist als die Verehrung der Gestirne. Letztere setzt eine weit höhere Kulturstufe voraus. Die Sterne hatten für die Menschen keinen Wert, solange sie nicht als Maß für Zeiten gebraucht wurden, die länger waren als eine Anzahl von an den Fingern abzählbaren Tagen. Wir wollen im folgenden darzustellen versuchen, wie man wahrscheinlich dazu gekommen ist.

Daß weder die Bewunderung der majestätischen Erscheinung, die beim Morgengrauen am östlichen Horizonte aufsteigt, um im Verlaufe des Tages das Himmelsgewölbe zu durchmessen und dann in den westlichen Weiten zu versinken, noch Dankbarkeit gegen die Lichtbringer der Nacht in ihrem Kampf gegen dunkle Wolken und andere Mächte

der Finsternis zur Anbetung der Gestirne geführt hat, ist sicher. Zweifellos richten auch ganz niedrig stehende Stämme ihre Aufmerksamkeit auf die auffallendsten Himmelskörper. Die Australneger sind in dieser Hinsicht besonders lehrreich. Nach Spencer und Gillen haben sie Legenden vom Mond, der bei ihnen männlichen Geschlechts ist, der Sonne, der Venus, wie auch von den schlimmen Magelhaenschen Wolken und den Plejaden, die, ebenso wie die Sonne und die Venus, weiblichen Geschlechts sind. Die größte Beachtung haben natürlich die Sonnenfinsternisse auf sich gezogen. Während nun diese Naturmenschen eine unglaubliche Menge religiöser Zeremonien haben, die sich auf die täglichen Vorkommnisse beziehen, findet sich keine, die den Gestirnen geweiht wäre, wenn man von dem Steinwerfen nach der Sonne bei deren Verfinsterungen absieht. Aber auch das scheint man mit einer gewissen Gemütsruhe den Medizinmännern zu überlassen. Sehr bezeichnend ist es, daß die Himmelskörper irdischen Ursprungs sein sollen und die Sonne, die Venus und die Plejaden weiblichen Geschlechts sind, was darauf hindeutet, daß der männliche Mond als der Vornehmste betrachtet wird. Die Zeit wird nach „Schlafen“, d. h. nach dem, wie oft man geschlafen hat, oder nach „Monden“ gerechnet. Es gibt Namen für Sommer und Winter. Zählen können diese Neger nur bis fünf, richtiger vielleicht gesagt, bis vier, weil das Wort „fünf“ auch „viele“ bedeutet. Irgend eine Vorstellung von einem Einfluß der Himmelskörper findet sich nicht, und darum fehlen auch mit diesen zusammenhängende Gebräuche. Man besitzt nur einige Sagen von ihnen, wie von anderen wahrgenommenen Dingen. Und so wäre es wahrscheinlich für immer geblieben, wenn nicht das Bedürfnis nach einer Einteilung der Zeit dem regelmäßigen Lichtwechsel der Himmelskörper eine große Wichtigkeit verliehen hätte.

Der Unterschied zwischen Tag und Nacht ist von so außerordentlich einschneidender Bedeutung, daß sein Stempel der ganzen organischen Natur auf der Erde aufgedrückt

worden ist. Bei den Gewächsen ändern sich die Lebensvorgänge vollständig mit dem Wechsel der Tageszeiten. Bei Tag nehmen sie unter der Wirkung des Lichtes Nahrung auf, bei Nacht verbrauchen sie einen Teil der tagsüber angesammelten Kraft. Diese Perioden sind so regelmäßig, daß sie automatisch einsetzen. Der berühmte Botaniker Pfeffer hat Versuche mit Mimosen gemacht, die bekanntlich ihre Blätter bei Tag ausbreiten und bei Nacht zusammenschlagen. Blieben sie bei Tag in einem dunklen Raume stehen, so breiteten sie doch ihre Blätter aus. Wurde der Raum bei Nacht elektrisch erleuchtet, so verging eine Zeit, bevor die Pflanzen sich an die Veränderung gewöhnten, dann aber fingen sie an ihre Blätter bei diesem Lichte auszubreiten. Auch die Tiere verhalten sich entsprechend. Die tägliche Periode liegt ihnen im Blute und sie besitzen in diesem Sinne eine instinktive Zeitrechnung.

Es wird vielfach behauptet, die Gewißheit, daß nach dem Dunkel der Nacht das Licht der Sonne wieder scheinen werde, habe die Menschheit befähigt, sich ruhig in den Verlust des Tageslichtes während der Hälfte ihrer Lebenszeit zu finden, und sie mit Dank gegen die Sonne erfüllt und zu deren Anbetung bewogen. „Ein neues Lebensgefühl“ — sagt Troels-Lund — „erwuchs in der Stunde, da die große Erkenntnis kam, daß eine Nacht des Schlafs und eine Nacht vollen Baugens gleich lang sind und immer von einem Morgen und danach folgendem Tag abgelöst werden.“ Diese Erkenntnis war unseren Urvätern indessen schon aufgegangen, lange bevor sie zu Menschtum gelangt waren. Darauf beruht die Sonnenanbetung auf keinen Fall.

Viel eher hat die Erkenntnis von dem Einfluß der Sonne auf den Wechsel der Jahreszeiten diese Wirkung gehabt. Gerade dieser Wechsel ist von großer Bedeutung; macht er sich doch schon in der Pflanzenwelt geltend, insofern, als die Pflanzen im Herbst Reservestoffe ablagern, was in besonders hohem Maße bei dem Samenansatz stattfindet. Selbst niedere und höhere Tiere sammeln Wintervorrat ein,

wie z. B. die Bienen und die Eichhörnchen, und da wäre es nicht zu verwundern, wenn auch auf niederer Stufe stehende Menschen für die regelmäßig wiederkehrende, an Lebensmitteln arme Zeit Vorrat einsammelten.

Indessen kann man von keiner Zeitrechnung von mehr als fünf Tagen bei den Australnegern sprechen, da sie nicht weiter als bis vier oder fünf zählen können. Sie wissen wohl, daß die Mondwechsel sich wiederholen und daß Sommer und Winter abwechseln; aber sie haben keinen Begriff von der Länge der Zeit zwischen diesen Wechseln. Etwas weiter kamen erst die Völker, die den großen Fortschritt gemacht hätten, nicht bloß nach den Fingern einer Hand, sondern nach denen beider Hände zu zählen, und so zu der Zahl zehn gelangten. Auf die Zeit angewandt, führte dies zur Berechnung größerer Zeitabschnitte nach Dekaden, d. h. nach je 10 Tagen. Dazu gelangten zunächst die Indoeuropäer, Semiten, Inder und Ägypter, wie auch die Inselbewohner des Stillen Ozeans. Etwas weiter aber ging man in Mexico, wo man die Gesamtzahl aller Finger und Zehen zugrunde legte und danach eine Zeiteinheit von zwanzig Tagen schuf. Aber von da bis zu der Einheit von 365 Tagen aufzusteigen, war eine außerordentlich schwere Aufgabe für ein Naturvolk.

Jahrtausende vergingen, bevor es den intelligentesten Völkern glückte, die Länge des Sonnenjahres festzulegen. Diejenigen unter ihnen, die weitab vom Äquator wohnten, wo die Änderungen der Sonnenhöhe beträchtlich sind, haben ohne Zweifel schon nach Jahren gerechnet, bevor sie die Länge des Jahres in Tagen ausdrücken konnten. Man stelle sich ein Nomadenvolk, wie die Lappen in Nordschweden, vor. Im Herbst ziehen ihre Rentiere des Futters wegen der Küste zu, und die Lappen folgen ihnen. Im Frühjahr gehen ihre Tiere mit ihnen in die Felsengebiete. Es kann diesen Nomaden darum nicht leicht entgehen, daß ihnen hier fast fortwährend die Sonne scheint, wogegen sie an der Küste beinahe ununterbrochen Nacht haben. Dadurch sind

sie ja geradezu gezwungen worden, den schönen Sommer mit der Dauer des Sonnenlichtes in Zusammenhang zu bringen. Die große Bedeutung der Sonne für das Leben wurde ihnen unzweifelhaft. Das gleiche gilt für alle Völker, die weit ab vom Äquator wohnen. Diese wurden darum Sonnenanbeter. Beispiele von sonnenverehrenden Völkern sind nicht schwer beizubringen; einige der wichtigsten mögen hier angeführt werden.

Die Menschen der Bronzezeit hier im Norden waren schon vor Jahrtausenden eifrige Sonnenverehrer, worauf viele Funde aus jener Zeit und namentlich die in die Felsen eingeritzten Zeichen hinweisen. Die Kelten in Westeuropa haben ebenfalls oft das Symbol für die Sonne in Gestalt eines Kreuzes dargestellt, während ihnen, wie es scheint, eine Verehrung des Mondes ebenso wie den Nordländern der Bronzezeit fremd war. Der Samson (Simson) der Juden war ein Sonnenheros; sein Name ist verwandt mit dem babylonischen Shamash, Sonnengott. In Hesiodos' Kosmogonie wird die Sonne (Helios) vor dem Monde (Selene) genannt. Die alten Germanen beteten sowohl die Sonne als auch den Mond an, erstere in höherem Maße. Die Slaven hatten einen Sonnengott Dazbogu; von einer Verehrung des Mondes dagegen hat man bei ihnen kein Anzeichen. Dasselbe ist auch von den Vorfahren der Finnen zu sagen. Bei den Chinesen zünden die Tao-Priester am Frühlings-Tag- und -Nachtgleichenfest Feuer an — wie wir zur Johannisfeier — und streuen Reis und Salz als Opfer in die Glut. „Das ist ein Überrest des Sonnenkultus,“ sagt Salomon Reinach, dem ich die meisten Angaben über diesen Kultus verdanke. In Japan ist der Mond männlichen Geschlechts, die Sonne weiblich, was darauf hindeutet, daß man dort, wie bei den Australnegern, ursprünglich dem Monde eine größere Bedeutung beigelegt hatte als der Sonne. Nichtsdestoweniger sind die Japaner jetzt Sonnenanbeter. Sie haben die Sonne als das Symbol des Höchsten in ihre Flagge gesetzt, und der Mikado soll von

der Sonne abstammen. Sie sind also schon seit langem vom Mond- zum Sonnenkultus übergegangen. In China ist man denselben Weg wahrscheinlich schon früher gegangen und hat sogar die Sonne männlich werden lassen. Mit der steigenden Kultur erkennen alle Völker, wie die Japaner, die weit überlegene Bedeutung der Sonne. Die Inkas in Peru, die schon eine beträchtliche Kulturhöhe erreicht hatten, waren Sonnenanbeter und nannten sich Kinder der Sonne, obgleich sie nahe am Äquator wohnten, wo der Mondkultus, wie wir gleich sehen werden, seine treuesten Anhänger hat.

In der Nähe des Äquators ist der Unterschied zwischen Sommer und Winter hinsichtlich der Stellung der Sonne und der Temperatur sehr gering. Dort ist vielmehr der Wechsel von trockenen mit feuchten Jahreszeiten von ausschlaggebender Bedeutung. Keine Schneedecke verhüllt im Winter den Boden und ertötet das Wachstum der Pflanzen, die Zufuhr von Nahrung für Mensch und Tier dadurch unterbindend. Oft kommt es, im Gegensatz zu unseren Breiten, sogar zu einer Unterdrückung der Vegetation bei großer Sonnenhöhe wegen gleichzeitig einsetzender Dürre. Die Sonnenhöhe und das Sonnenlicht verändern sich im Verlaufe des Jahres in zu geringem Maße, um die Aufmerksamkeit des Naturmenschen zu erregen. Das Licht des Mondes hingegen schwankt dort, ebenso wie bei uns, zwischen voller Stärke und gänzlichem Verlöschen und noch dazu in so kurzen Zeiten, daß diese periodischen Wechsel im Gedächtnis fest haften bleiben müssen. Und so benutzen selbst die niedrig stehenden Australneger die Wechsel des Mondlichtes zur Angabe vergangener Zeiten. Sie haben selbstverständlich keine so zu bezeichnende Zeitrechnung, weil sie nicht zu sagen vermögen, wieviel Tage auf einen Monat gehen. Wieviel günstiger standen da nicht die Völker, die bis 10 oder gar bis 20 rechnen konnten und die einfache oder doppelte Dekade als Zeitmaß angenommen hatten? Konnten sie doch schon mit Leichtigkeit die Zeit

zwischen zwei Mondvierteln angeben, die sieben und einen halben Tag auseinander liegen.

Nachdem sie aber erkannt hatten, daß vier Viertel zwischen zwei Neumonden liegen, waren sie imstande, den wichtigen Schritt von dem kurzen Zeitmaß, dem Tage, zu dem längern, dem Monat, zu tun. Nahmen sie den letzteren zunächst 30 mal so lang an als den ersteren, so konnten sie im weitem Fortschritt feststellen, daß der Monat nicht genau 30 Tage hat, sondern etwas weniger — was ihnen wahrscheinlich einiges Kopfzerbrechen verursacht hat. Tatsächlich sind es nur 29,53 Tage. Auf jeden Fall aber erwies sich die periodische Wiederkehr von Vollmond und Neumond als das Zuverlässigste und Sicherste, was sie kannten. Das war ganz was anderes als das unberechenbare Auftreten von Erdbeben oder Stürmen, Unwettern und Wolkenbrüchen, von durch wilde Tiere oder Feuer angerichteten Verwüstungen gar nicht zu reden. Man war nun imstande, Zeiten zu überschauen, die früher unberechenbar waren. Der Ewigkeitsbegriff dämmerte zum ersten Male vor der Menschheit auf. Der Mond war der große Meister, der Ausmesser aller Dinge. Der Mond heißt auch im Sanskrit „mās“, d. h. der Messer; auch das lateinische „mensis“ (Monat) ist mit „mensura“ (Maß) nahe verwandt.

Bei den Völkern, die nicht in der Nähe der Pole wohnen, wurde daher der Mond der Sonne vorangestellt. Die Mexikaner hatten vor langen Zeiten ein sehr eigentümliches Maß für größere Zeiträume, das sogen. „tonalamatl“, das 260 Tage umfaßte. Es sollte ohne Zweifel neun synodische Monate — neunmal den Zeitabstand zwischen zwei Neumonden — umfassen. Da diese Zeit aber 265,58 Tage beträgt, in welcher Zahl die doppelte Dekade nicht aufgeht, so kürzte man sie auf 260 Tage, wie wir das Sonnenjahr von in Wirklichkeit 365,24 Tagen gleich 365 Tagen setzen.

Viele Untersuchungen sind angestellt worden, warum die Mexikaner gerade neun synodische Monate anstatt deren 13, wie die meisten anderen Völker, gewählt haben,



aber man ist zu keiner Klarheit gekommen. So viel ist aber sicher: das „tonalamatl“ hat nichts mit dem Sonnenjahr zu tun, sondern nur mit Mondmonaten. Das hohe Alter des „tonalamatl“ geht daraus hervor, daß es noch ständig in der Magie und beim Horoskopstellen von den Priestern benutzt wurde, nachdem das Sonnenjahr schon lange für den allgemeinen Gebrauch eingeführt war. Ein mexikanischer Gelehrter, de Jonghe, sagt, daß das „tonalamatl“ von allen der Nahua-Gruppe angehörigen Stämmen gebraucht wurde, obwohl diese sich schon vor langer Zeit getrennt hatten. Es ist also allem Anschein nach ein altes Zeitmaß, doch offenbar jünger als der synodische Monat.

Umfassendere Kenntnis besitzen wir von der Mondanbetung bei den Mesopotamiern. Bei ihnen war die Verehrung des Mondes (Sin) älter als die der Sonne (Shamash). Nachstehende Übersetzung einer Keilschrift hymne entnehme ich einer Studie über „Semitische Mondanbetung“ von Lektor L. Bergström in Nordisk Tidskrift 1909.

O, Sin, der du allein Licht spendest,  
 der du der Menschheit Licht bringst,  
 der du den Schwarzgelockten günstig bist,  
 dein Licht strahlt am Himmelsgewölbe,  
 deine Fackel leuchtet wie Feuer,  
 dein Glanz erfüllt die weite Erde.  
 O du, des Himmels Anu, dessen Einsicht und Verstand  
 niemand fassen kann,  
 dein Licht ist herrlich wie Shamash, deine Erstgeborene,  
 vor dir liegen alle großen Gottheiten im Staube,  
 weil das Schicksal der Welt in dir ruht.

„Anu“ ist der Gott des Himmels und scheint hier Gott im allgemeinen zu bedeuten. Shamash ist die Tochter Sin's und wird schon in dieser Hymne als dem Vater gleichwertig genannt. Späterhin, unter der Hammurabi - Dynastie (gegen 2000 v. Chr.), galt Shamash als oberster Gott, aber

der Mond verblieb doch der Zeitmesser in religiösen Dingen. Auch bei ihren astrologischen Weissagungen wurde der Mond mit Vorliebe von den Priestern gebraucht. Dabei waren die Zeichen an ihm das Wichtigste. Noch zu Tycho Brahe's Zeit weissagten die Astrologen aus ihnen. — „O, Sin, du weissagst den Göttern, die dich darum bitten,“ heißt es in einem Beschwörungsgesang.

Von dem babylonischen Kulturherd aus ging die Mondanbetung auf die Araber und andere Semiten über. Auch bei den Flebräern hat der Mond, nach Bergström, ursprünglich eine wichtigere Rolle gespielt als die Sonne. Erst zu Christi Zeit hatte sich das Verhältnis umgekehrt. Der Mond war jedoch der Zeitmesser für den religiösen Kalender geblieben. Im Psalm 104. 19 heißt es: „Er hat den Mond erschaffen, die Zeiten zu bestimmen.“

Die allgemeine Meinung geht dahin, daß es hauptsächlich das von den Gestirnen ausgehende Licht war, was die Aufmerksamkeit der Menschen auf sich gezogen hatte. Danach läßt es sich aber schwer erklären, warum man dem Monde den Vorsprung vor der Sonne gab. Man sagt nun gewöhnlich, die Sonne wäre (in Babylon) für eine Feindin der Menschen gehalten worden, weil sie durch ihre Hitze den Graswuchs vernichte. Tatsächlich bringt der Sommer dort eine Periode großer Dürre ins Land. Andererseits sollen die mond hellen Nächte heilsam und belebend sein. Eine andere Erklärung wird von Bergström versucht. Er sagt, der glänzende Mond mit seiner beständig wechselnden Gestalt habe die Phantasie der Naturvölker stärker angeregt als die mit ziemlich unveränderter Kraft strahlende Sonne. Darin mag wohl etwas Wahres liegen. Der so große Wechsel der Lichtstärke zwischen Voll- und Neumond erlaubt die Veränderungen im Aussehen des Mondes von Nacht zu Nacht wahrzunehmen. Durch die Verspätung seines Auf- und Untergangs um ungefähr eine Stunde für jeden Tag, gegenüber dem sich nur unmerklich ändernden Verschwinden und Erwachen des Sonnenlichtes, ganz be-

sonders aber durch die kurzen Perioden seines Lichtwechsels, erhalten sich die Vorgänge frisch im Gedächtnis, und dadurch wird der synodische Mondumlauf zu dem besten Maße für größere Zeitlängen.

Es war sicherlich ein praktisches Bedürfnis, das sich geltend gemacht hat, und durchaus nicht irgend ein Drang, die Mondwechsel in Legenden zu veranschaulichen. Bei den Australnegern hat der Mond in jedem Viertel einen andern Namen. Wahrscheinlich haben sie zuerst geglaubt, es mit vier verschiedenen Himmelskörpern zu tun zu haben, ähnlich den Griechen zu Homers Zeiten, die den Planeten Venus als Morgenstern und Abendstern für zwei verschiedene Sterne hielten.

Dafür, daß die verbrennende Hitze der Sonne der Neigung, sie anzubeten, irgendwie Eintrag getan hätte, findet sich keine nennenswerte Stütze. Gerade das Gegenteil ist gewöhnlich der Fall gewesen; man hat gerade die Dinge angebetet, die man fürchtete. Auch das ist nicht richtig, daß die Babylonier die Sonne, Shamash, für feindlich, den Mond für freundlich hielten. Der Sonnengott, Shamash, war ihnen durch sein Licht der Spender von Leben und Gesundheit. Das Verzehrende der Sonnenhitze wurde einem andern Gotte, Nergal, zugeschrieben, dem Herrn der Unterwelt, dem Dämon des Krieges und der Jagd, dem Bringer des Fiebers und vor allem der Pest. Es lag also nichts vor, Shamash an die zweite Stelle hinter Sin zu setzen, von dem gesagt wird, daß er Wasser und Feuer trüge, womit (nach Schrader) angedeutet werden soll, daß er Fieberschauer und Fieberhitze bewirke.

In Wüsten, aber auch an feuchteren Stellen in den Tropen stellt sich nach Sonnenuntergang eine solche niedere Temperatur ein, daß Wasser gefriert und man in jenen Gegenden dann Eis gewinnen kann. Wer sich dieser plötzlichen Kälte aussetzt, zieht sich leicht eine Krankheit zu. Dieser Temperaturfall tritt besonders bei klarem Himmel wegen der unbehinderten Ausstrahlung ein, „wenn der

Mond scheint“, wie die Naturvölker sagen. Schläft man also im Mondschein, so wird man, wie sie glauben, vom Fieber und Wahnsinn befallen. Dieser Glaube ist selbst bei den zivilisierten Völkern bis heute nicht ausgestorben und besonders noch bei den Seefahrern lebendig. Es erklären sich daraus solche Wörter, wie Mondsucht, engl. moon-struck, lunatic etc. Dieser Glaube kann sich möglicherweise auch dadurch erhalten haben, daß bei Epileptikern, die dem, was man mondsüchtig nennt, am nächsten gleichkommen, mitunter heftige Anfälle in Perioden sich einstellen, die ziemlich mit dem synodischen Monat übereinstimmen und wahrscheinlich, worauf ich hingewiesen habe, auf einem periodischen Schwanken der Luftelektrizität beruhen.

Anschließend sei hier noch hervorgehoben, daß die dritte große Sterngottheit, Ishtar, die Himmelskönigin (Astarte, Venus), die sanfte, aber mächtige, barmherzige Helferin in allen Nöten war, die aus Verzauberung und Siechtum erlöste und aller Schuld und Sünde Verzeihung gewährte. Diese herrliche Göttin, die dem rührenden Bilde der Jungfrau Maria bei den Katholiken ähnelt, stand trotz ihres Mitleids mit den Leiden der Menschen nur an dritter Stelle in der glänzenden Dreizahl: Sin, Shamash und Ishtar.

Der Wüstenwanderer leidet bei der großen Trockenheit meist unter quälendem Durst. Daran ist aber tatsächlich nur der Wassermangel und nicht die Sonne schuld. Die Ägypter wünschten ihren Toten kühle Quellen und labende Nordwinde auf ihrem Wege zur neuen Heimat. Die Mohammedaner haben inbezug auf das jenseitige Paradies ähnliche Vorstellungen.

Ganz andere Vorstellungen entstanden, nachdem die Bevölkerung sich vermehrt hatte und man sich wegen der Beschaffung der Nahrung gezwungen sah, zum Ackerbau überzugehen. Hierbei erwies sich der Einfluß der Sonne als so überwiegend, daß man begann, sie als die Lenkerin des menschlichen Schicksals zu betrachten und sie infolgedessen an die vorderste Stelle setzte. Die Gewächse haben eine

ausgeprägte jährliche Periode, ebenso wie die Flüsse periodisch austreten und die Überschwemmungen sich einstellen, die besonders in den Ländern, in denen die Wiege der Kultur gestanden, von höchster Bedeutung waren. Aber auch in der Atmosphäre besteht eine ausgesprochene jährliche Periodizität hinsichtlich des Wechsels von Niederschlägen und Trockenheit. Die große Bedeutung der Überschwemmungen in Ägypten hat schon in einer sehr frühen Zeit zur Einführung des Sonnenjahrs Anlaß gegeben. Man nahm dessen Länge zu zwölf Monaten zu dreißig Tagen, d. h. zu 360 Tagen an, war aber dadurch genötigt, den Jahresanfang zu schieben. Beobachtungen des Auf- und Untergangs des Hundssterns (Sirius) dienten als Hilfsmittel bei diesen Schiebungen. Man sieht hieraus, wie umständlich es ist, aus bloßen Beobachtungen die genaue Länge des Sonnenjahres festzustellen. Der große Reformator Amenhotep IV. wollte um 1400 v. Chr. den Sonnengott als den alleinigen Herrn der Welt anerkannt wissen, stieß hierbei jedoch auf große Schwierigkeiten bei der konservativen Priesterschaft, die, größtenteils anderen Göttern dienend, an Macht einzubüßen fürchtete. Sein Nachfolger mußte sich unter diesem kompakten Widerstand beugen.

Um 2000 v. Chr. wurde in Babylon der Lokalgott Babels, Marduk, der bis dahin der Repräsentant des Planeten Jupiter war und unter den Sterngottheiten gleich hinter den drei hohen Obergöttern stand, zum höchsten Range unter den Göttern erhoben, wobei ihm auch das Amt des Sonnengottes eingeräumt wurde. — Marduk spielte, nebenbei bemerkt, auch eine große Rolle als Heiler in Krankheiten. — Im alten Rom nahm die Entwicklung, wenn auch viel später, einen ähnlichen Verlauf, da der Kaiser Aurelianus (270—275) unter dem Einfluß des morgenländischen Mithraskultus den Sonnengott zum Obergott für das gesamte römische Reich erhob, das beinahe die ganze damals bekannte Welt umfaßte.

Ein ganz besonderes Licht wird auf unseren Gegen-

stand dadurch geworfen, daß der Planet Venus bei den Mexikanern eine beinahe ebenso wichtige Rolle spielte, wie Mond und Sonne. Im Gegensatz zu den äußeren Planeten verändert dieser Planet seine Lichtstärke, gleich wie der Mond, von voll bis nahezu gänzlichem Dunkel. Dabei soll das volle Licht in den Tropen so kräftig sein, daß es Schatten wirft. Die Periode dieser synodischen Wechsel beträgt 1,6 Jahr weniger ungefähr 2 Stunden, und die Mexikaner haben darum eine negative Korrektion von einem Tag nach je 12 Perioden eingeführt, den sie also abziehen, während wir, umgekehrt, jedes vierte Jahr einen Tag zulegen. Sicherlich eignen sich Beobachtungen des Lichtwechsels der Venus und ihrer Stellung zur Sonne, weil es sich um längere Perioden handelt, sehr gut zu Zeitmessungen und besonders zur Bestimmung der Länge des Sonnenjahres, weil fünf Venusperioden sehr nahe acht Sonnenjahren entsprechen. Es ist von den mexikanischen Priestern festgestellt worden, daß 104 Sonnenjahre gleich sind 65 Venusperioden oder 146 „Tonalamatl“.

In Mexiko war der Kultus der Gestirne ebenso ausgebildet wie in Babylon. Der Hauptglaubenssatz wird von Alfredo Chavero wie folgt angegeben: „Der Vater-Schöpfer war der Himmel, Xiuhtecutli, der azurblaue Herr. Die Mutter war Omecihuatl, die Milchstraße, die zwiefache Herrscherin.“ Bekanntlich geht die Milchstraße eine ziemlich lange Strecke, vom Sternbild des Schwans bis in die Nähe des südlichen Kreuzes, in zwei gleichlaufende Zweige geteilt. Daher wohl der Beiname „zwiefache“ Herrscherin. „Feuer des Himmels ergriff die Milchstraße, aus deren kosmischen Materie die Sterne hervorgingen. Die vornehmsten unter diesen sind Tonatiuh, die Sonne, Tezcatlipoca, der Mond, und Quetzalcoatl, die Venus. Diese wurden zu Obergottheiten erhoben. Zu Zwecken des Kultus wurden sie in menschlicher Gestalt dargestellt. Myriaden solcher Abbilder, aus Ton, Holz oder Stein, waren angefertigt, um der Anbetung zu dienen.“

Das ist höchst interessant. Es zeigt, daß die Mexikaner der Lösung des Welträtsels näher gekommen sind als selbst die Babylonier. Anstatt Himmel und Erde als die Urprinzipien anzunehmen, wie es die meisten Völker getan haben, erhoben sie die Milchstraße zum Range einer Urmutter. Sie war die Erzeugerin sämtlicher zahlloser Sterne, der Sonne voran. Das nähert sich auffallend der neuzeitlichen Auffassung, zu der hauptsächlich die Arbeiten der amerikanischen Astronomen im letzten Jahrzehnt hingeleitet

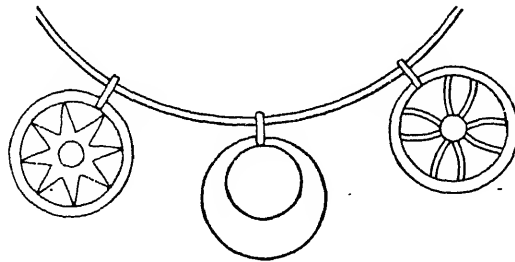


Fig. 1.

Halsband eines assyrischen Königs  
nach einer Steinskulptur vom 9. Jahrhundert vor Chr.

haben. Die Ergebnisse dieser Forschungen weisen auf die Milchstraße hin, aus deren Urnebelmaterie die Sterne hervorgehen, und, von ihr wegwandernd, im Laufe der Zeiten sich in ihrer Eigenartigkeit herausgestalten.

Im Zweistromland war, wie wir oben gesehen haben, der Venus die Ehre zuteil geworden, in die große Dreiheit der Sterngötter aufgenommen zu werden. Die irdischen Stellvertreter der himmlischen Götter, die assyrischen Könige, trugen als Zeichen ihrer göttlichen Sendung ein Halsband, in dessen Mitte eine Mondsichel prangte, neben der auf der einen Seite ein von einem Ringe eingefasstes Kreuz, als Sinnbild der Sonne, und auf der anderen Seite ein Stern, als Zeichen für die Venus, angebracht waren. (Fig. 1.) Das

Kreuz ist auf die Christen übergegangen, der Halbmond auf die Mohammedaner und das Sternsymbol sieht man gewöhnlich in den jüdischen Synagogen.

Bei der Bestimmung der kirchlichen Feste richteten sich die Mohammedaner und die Juden noch nach dem Monde, wie auch die Christen bezügl. des Osterfestes. Dabei rechnen die Mohammedaner das Jahr zu 12 synodischen Monaten. Zwölf synodische Monate umfassen aber nur 354,4 Tage, wogegen das Sonnenjahr 365,24 Tage hat. Das suchte man meistens dadurch auszugleichen, daß man den Mondmonat zu 30 Tagen und das Sonnenjahr zu 360 Tagen rechnete, wie es beispielsweise die Ägypter und ursprünglich auch die Babylonier taten. Mit Brüchen oder in ganzen Zahlen zu rechnen fiel den Naturvölkern sehr schwer und man griff zu dem Hilfsmittel, in ungefähr jedem sechsten Jahre einen Monat einzuschalten, um die Ungleichheit zu beseitigen.

Das hohe Ansehen der Zahl zwölf stammt aus jenen Zeiten. Der Tierkreis wurde in 12 Häuser eingeteilt, in deren jedem die Sonne einen Monat weilen sollte. Tag und Nacht erhielten je 12 Stunden. Der Kreisumfang wurde in 360 Grade, gleich der angenommenen Anzahl der Tage im Jahre, geteilt. Dadurch erhielt man für das Fortschreiten der Sonne durch den Tierkreis von Mittag zu Mittag einen Grad. Die Herrschaft des Mondes in der Zeitrechnung brachte vielfache Komplikationen, die wahrscheinlich große Verwirrungen anrichteten. Wie wir gesehen haben, hatten die Australneger für die vier Mondviertel vier verschiedene Namen, was leicht begreiflich ist, da das Bild des Mondes in einer jeden seiner vier Stellungen ein ganz anderes ist. Infolgedessen wurde auch der synodische Monat in vier Wochen eingeteilt. Die wahre Länge des Monats von 29,53 Tagen wurde mit dem beträchtlichen Fehler von nicht weniger als 5,5 v. H. auf die durch 4 teilbare Zahl 28 abgerundet und man erhielt so 7 Tage für jede Woche.

Die Annahme von 7 Planeten hat ihrerseits auch viel



für die Festhaltung der siebentägigen Woche beigetragen. Die Priester hatten außer der Sonne, dem Monde und der Venus noch vier weitere Sterne als beweglich erkannt, nämlich den Merkur, den Mars, Jupiter und Saturn. Einem jeden dieser sieben Sterne wurde ein Tag in der Woche, der dessen Namen erhielt, geweiht. Diese Namen haben sich bis heute erhalten, so Sonntag, Montag usw. Die aus religiösen Rücksichten festgelegte Einteilung der Zeit nach Wochen verdrängte den rationellen Kalender, der sich noch in Ägypten erhielt und, wenn auch viel später, selbst in Westeuropa durch die französische Revolution — leider nur für eine kurze Dauer — 1793—1805 — eingeführt worden war. Anstatt den synodischen Monat bald mit Zulage eines halben Tages auf 30 Tage, bald durch Wegnahme von  $1\frac{1}{2}$  Tag auf 28 Tage zu bringen, hätte man einfache Verhältnisse geschaffen, wenn man, unter Beibehaltung der Dekade inbezug auf die Tage, entweder sieben Monate zu 30 Tagen und fünf zu 31 Tagen nebst einem Schaltjahr mit 6 31-tägigen Monaten, oder 12 Monate von je 30 Tagen und eine Zulage von einer halben Dekade (5 Tagen) an jedem Jahresschluß eingeführt hätte.

Neben den genannten 7 Planeten der Alten (jetzt kennt man deren 700) hatten noch viele andere Sterne und Sternbilder eine wichtige Bedeutung. Bei den Australnegern waren es die Plejaden und namentlich die Magelhaen'schen Wolken, die man als böse fürchtete. Auf der nördlichen Halbkugel hat man im allgemeinen keine gute Gelegenheit die letzteren zu sehen; sie liegen in der Nähe des Südpols. Dagegen haben sich hier die Plejaden großer Beachtung erfreut. Besonders die Phönizier scheinen ein großes Interesse an dieser Sterngruppe gehabt zu haben. Von ihnen aus verbreitete sich die Verehrung der Plejaden über große Strecken von Afrika, wo man sie, merkwürdigerweise, in Gemeinschaft mit Sonne, Mond und Venus abgebildet findet. Im Homer werden nebst einigen anderen Sternen und Sternbildern, wie den Hyaden, dem Orion, dem großen Bären,

dem Sirius und Arkturus, auch die Plejaden erwähnt. Jedenfalls haben die letzteren eine besondere Stellung innegehabt. Gleich dem hellsten Stern am Himmel, dem Sirius, war auch der zweithellste, Canopus, ebenfalls auf der südlichen Hemisphäre und nur halb so weit vom Südpol entfernt als der Sirius, Gegenstand der Beachtung und Anbetung bei den Naturvölkern, namentlich bei den südafrikanischen.

Mit der Zeit lernten die Völker, besonders die Babylonier und Mexikaner, immer mehr Sterne kennen und setzten diese, weil die Hauptsterne, Sonne, Mond und Venus, die Jahreszeiten und damit schon die wichtigsten Vorkommnisse in der Natur beherrschten, nach und nach über alle anderen Dinge und Geschehnisse. Nicht bloß die Jahreszeiten, Monate, Tage und auch die Stunden hatten, ein jedes den besonderen Stern, sondern alles und alles war damit versehen. Die verschiedenen Winde, Länder, Gemeinschaften, Personen, Körperteile, Tiere hatten ein jedes seinen Stern und damit seinen himmlischen Beschützer. Man vertiefte sich in weitläufige Untersuchungen über angenommene vielfache Übereinstimmungen und Verknüpfungen, wobei man jedoch auf Grund unwesentlicher äußerer Gleichheit, oft auch nach reinem Gutdünken, Schlüsse zog. So galt die Stellung der Gestirne in der Geburtsstunde des Menschen als auf dessen Schicksal ausschlaggebend. Eine unglaublich weitläufige Korrespondenz- und Sympathielehre, eine ins einzelne gehende Symbolik, eine vollständige Scheinwissenschaft, die keine Prüfung duldete, weil sie von den unfehlbaren Priestern herstammte, war die Frucht solchen Bemühens. Bei den Babyloniern war die Religion vollständig mit der Wissenschaft verwachsen und auch die Kunst stand in ihrem Dienst. Manchmal vernimmt man einen Seufzer über den Verlust dieses paradiesischen Zustandes. Zum Glück wird er niemals wiederkehren.

Die orientalische Lehre wurde von den Griechen übernommen, von ihnen mit der platonisch-aristotelischen Philo-

sophie verschmolzen, und in dieser Gestalt beherrschte das babylonische Erbe das Denken der Menschen bis vor fast 200 Jahren. Die hauptsächlichsten Zweige dieser sogenannten Wissenschaft waren die Astrologie und die Alchemie. Noch Tycho Brahe hatte es sich zur Lebensaufgabe gemacht, die Astrologie zu bereichern und zu festigen. Kepler soll, wie man wohl sagt, nicht an die Astrologie geglaubt haben, er stellte jedoch Horoskope, nicht allein Fürsten und anderen hohen Personen des Gelderwerbs wegen, sondern auch seinen eigenen Angehörigen. Zweifellos hat noch ein gut Teil des alten Aberglaubens in ihm gesteckt, aber er wird sich vermutlich gesagt haben: „Hilft's nicht, so schadet es nicht.“

Auch die Alchemie wurde weiter betrieben, zum Teil von überzeugten Adepten, meist aber von Betrügern, dem natürlichen Gefolge aller sogenannten „occulten“ Wissenschaften. In Amerika gibt es noch jetzt sowohl Astrologen als auch Alchemisten unter den Anhängern des Occultismus. Viele von ihnen prophezeien gegen hohe Bezahlung oder verkaufen ihre Geheimnisse. Ich habe einen sehr angesehenen schwedischen Ingenieur erzählen hören, daß die Prophezeiungen einträfen. Unter den wenigen europäischen Alchemisten, die zumeist religiöse Schwärmer sind, ist Strindberg von einem gewissen Interesse für uns. Die Korrespondenzlehre hat noch vor ganz kurzer Zeit eine große Rolle in den Spekulationen der Gelehrten gespielt. Sie ist in bedeutendem Umfang in den späteren phantastischen Schriften Swedenborgs angewandt worden. Auch in den schwächeren Arbeiten von Strindberg finden sich zahlreiche Spuren davon.

Der berühmte französische Chemiker Berthelot hat eine äußerst wertvolle Darstellung der Art und Weise hinterlassen, in der von den Alchemisten die chemischen Erscheinungen behandelt wurden. Er kommt zu dem Schlusse, daß die falschen Grundanschauungen der Alchemisten, durch die sie auf Irrwege geführt wurden, von den Theorien Platos

und Aristoteles über die Zusammensetzung der Materie herkommen. Etwas Ähnliches kann von der Stellung der platonisch-aristotelischen Philosophie zur Astrologie gesagt werden. Sie spielt mit Begriffen, die sie sich selbst fast ohne jede Beziehung und Übereinstimmung mit der Wirklichkeit konstruiert hat. Ihre Ergebnisse sind gänzlich wertlos.

Der größte babylonische Astronom, Kidinnu (um 200 v. Chr.) hat unter Benutzung der Beobachtungen von Jahrtausenden sehr genaue Tabellen über die Stellungen der Sterne angefertigt. Aus diesen Ephemeriden wurden auch zukünftige Schicksale von Personen abgelesen, sowie entnommen, ob ein gewisser Zeitpunkt für ein beabsichtigtes Unternehmen günstig sei oder nicht. Sie brachten auf jeden Fall den Priestern großes Einkommen und Herrschaft über die Sinnesart der Menschen. Zu irgend einem Versuch einer physikalischen Erklärung der Natur der Himmelskörper vermochten sich die Priester nicht aufzuschwingen. Wahrscheinlich wurde so etwas für gefährlich gehalten. Die Sterne waren göttliche, aus einer feineren Materie als die Erde bestehende Wesen. Man mußte daher befürchten, daß die Götter an dem Vermessenen, der in ihre Geheimnisse einzudringen und sich ein Urteil über dieselben anzumaßen versuchte, Rache nehmen würden.

Glücklicherweise bestand in Griechenland noch eine andere philosophische Richtung als die platonisch-aristotelische. Sie war hauptsächlich in Süditalien und später in Alexandrien vertreten. Schon die Pythagoräer hatten bedeutende Fortschritte in der Deutung der Rätsel der Sterne gemacht. Am weitesten war hierin Aristarchos von Samos gelangt, der vor ungefähr 2100 Jahren in Alexandrien lebte. Schon 1700 Jahre vor Kopernikus hat er das heliozentrische System aufgestellt. Man sagt zwar, daß seine Arbeiten nicht viel genützt hätten, da Kopernikus sie doch noch einmal zu machen gezwungen war. Dabei vergißt man aber,

daß Kopernikus selbst die antiken Philosophen anführt, deren Ansichten mit dem heliozentrischen System übereinstimmen, und daß er direkt ausspricht: weil er so hochstehende Autoritäten für seine Anschauungen anführen könne, habe er es wagen dürfen, sie vorzubringen. Kopernikus wagte keineswegs vollständig mit dem herrschenden ptolemäischen System zu brechen und war so inkonsequent, Teile desselben für die Berechnung der Planetenbewegungen beizubehalten.

In der neuesten Zeit sind wir auf der von den Pythagoräern nebst Aristarch und Kopernikus und Galilei betretenen Bahn weiter gekommen und haben sie in hohem Maße vervollkommenet. Der Fortschritt in der Astronomie und den ihr nahestehenden Wissenschaften vollzieht sich, mit dem antiken Maß gemessen, mit rasender Geschwindigkeit. Zuweilen erhebt sich eine warnende Stimme, die uns mahnt, mehr Rücksicht auf diejenige Philosophie zu nehmen, die ein direkter Ableger der platonisch-aristotelischen ist. Wer nur irgendwie die Geschichte der Naturwissenschaft kennt, wird uns wohl verstehen, wenn wir sagen: „wir haben mehr als genug daran.“

Daß der „Nichtnaturforscher“ mitunter einen sehr sonderbaren Begriff von der jetzigen Stellung der Astronomie hat, geht deutlich daraus hervor, daß einer unserer hervorragendsten Theologen in einer Besprechung einer populär-astronomischen Schrift sagte: Die jetzigen Astronomen sind, im ganzen genommen, nicht viel weiter gekommen als die antiken, da diese doch auch schon die Sonnenfinsternisse voraussagen konnten. Das konnten sie, weil zwischen den aufeinander folgenden Sonnenfinsternissen, ungefähr so wie zwischen den Mondfinsternissen, gewisse Zeitintervalle bestehen, nur ereignen sich die letzteren Verfinsterungen öfter als die ersteren.

Der Unterschied zwischen unserer jetzigen Kenntnis der Himmelskörper und dem, was wir vor fünfzig bis sech-

zig Jahren von ihnen wußten, ist himmelweit, und das gilt in gleichem Maße für die Astronomie der Zeit um 1850 gegenüber derjenigen der Antike. Darum dürfen wir aber doch nicht vergessen, daß die leuchtende Sternkunde unserer Tage von dem Bedürfnis der Menschen, die Zeit zu messen, um für die nächste Zukunft sich mit Nahrungsmitteln versorgen zu können, erzeugt worden ist.

---

## Kapitel II.

### Das Rätsel der Milchstraße.

In dunklen, sternklaren Nächten bemerkt man am prächtigen Sternhimmel ein unregelmäßiges, über den Himmel sich hinziehendes Lichtband. Dieses Band setzt sich noch über den Teil des Himmels fort, dessen Anblick uns entzogen ist, so daß man sagen kann, daß es wie ein Gürtel das ganze Himmelsgewölbe umschließt. Dieses am nördlichen Sternhimmel am kräftigsten erscheinende Band nennt man die Milchstraße. Es steht etwa  $60^\circ$  gegen den Äquator geneigt und teilt den Himmel in zwei nahezu gleiche Teile, von denen der nördliche etwas größer ist.

Schon in sehr früher Zeit hat die Milchstraße, gleich anderen Erscheinungen am Himmel, die Aufmerksamkeit der Menschen auf sich gezogen. So heißt es bei dem Stamme der Dieri in Zentral-Australien, die Milchstraße sei der Strom des Himmels; die Mexikaner betrachten sie als den Urquell des Alls. Die Sage hat ihre Entstehung zu erklären versucht. Wegen ihres milchweißen Scheines wurde diese Himmelserscheinung von den Römern „*via lactea*“ genannt, und diese Bezeichnung ist von fast allen Völkern in ihre Sprachen übertragen und beibehalten worden. Sie knüpft an die Sage von Herkules an, der, als Kind von Juno gesäugt, plötzlich von ihr im Zorn weggestoßen wurde, wobei sich die Milch über den Himmel ergoß.

Die antike Welt und auch die ganze Menschheit hatte aber bis vor ungefähr 200 Jahren kaum eine Ahnung von der außerordentlich großen Bedeutung der Milchstraße. Anaxagoras und Demokritos vermuteten gleichwohl, daß sie aus einer großen Zahl dicht zusammengehäufte, außerordentlich kleiner Sterne bestünde, die von derselben Beschaffenheit wären wie unsere Sonne. Ptolemaios beschrieb vor nahezu 2000 Jahren ihre Lage am Himmel, und diese Beschreibung stimmt noch heutigen Tages, soweit man mit unbewaffnetem Auge beobachtet. Das von Galilei eingeführte Fernrohr bestätigte die Ansicht, daß die Milchstraße eine Ansammlung zahlloser Sterne sei. Vor noch nicht ganz 200 Jahren machte Swedenborg sie zum Gegenstand kosmogonischer Betrachtungen, nach denen das Sonnensystem zu ihr gehören sollte. Wright, Kant und Lambert führten diesen Gedanken weiter aus.

Weiterhin wurde kein nennenswerter Fortschritt gemacht, bis der große William Herschel durch seine statistischen Untersuchungen zeigte, daß die Sterne um so dichter beieinander sind, je näher der Milchstraße sie stehen. Das gilt aber hauptsächlich für die kleinen, mit freiem Auge nicht wahrnehmbaren Sterne; die lichtstärksten Sterne sind gleichförmiger über den Himmel verteilt. An manchen Stellen der Milchstraße liegen die Sterne mehr als hundertmal so dicht als an ihren Polen, das heißt an den von ihr so weit als möglich entfernten Punkten. Nach Herschel sind die statistischen Untersuchungen von Struve aufgenommen und später von vielen Forschern fortgesetzt worden.

Durch diese Untersuchungen ist festgestellt worden, daß die Milchstraße sozusagen die Grundfeste bildet, auf welcher das für uns sichtbare Sternsystem aufgebaut ist. Alle verschiedenen Arten von Himmelskörpern sind durchforscht worden, sie sind alle um die Milchstraße als Symmetrieebene angeordnet und meist um sie stark angehäuft. Hierher gehören die neuen Sterne, die mitunter aufflammen,



wie der bekannte neue Stern im Perseus von 1901; sie liegen fast sämtlich in der Milchstraße oder in ihrer unmittelbaren Nähe. Ferner gehören hierher die unregelmäßigen Nebel, große, weit ausgebreitete Gasmassen, von denen der Orionnebel der bestbekannte ist, und die die Urmaterie auszumachen scheinen, aus der die Sterne hervorgingen. Hierher gehören auch die Sternhaufen, dichte, kugelförmige An-

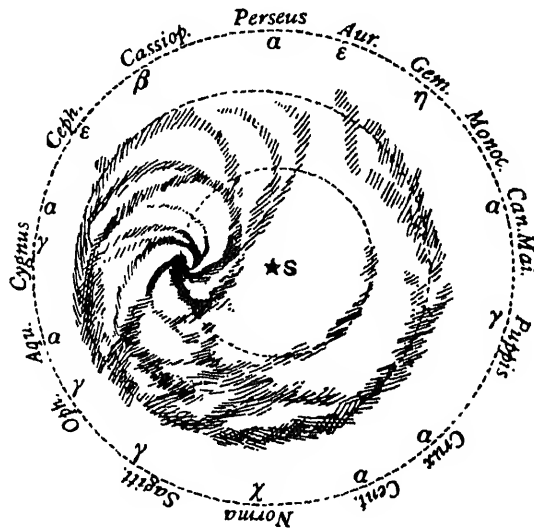


Fig. 2.

Darstellung der Milchstraße als Spiralnebel nach Easton.

häufungen von Sternen, und die sogenannten planetarischen Nebel, die — wenigstens in ihren sichtbaren äußeren Teilen — ebenfalls aus kugelförmig oder ellipsoidisch gestalteten Gasmassen bestehen. Im Gegensatz zu all diesen kommen die zahlreichen Spiralnebel, mit welchen eigentümlichen himmlischen Gebilden wir weiter unten uns noch beschäftigen werden, unvergleichlich reichlicher in der Umgebung der Milchstraßenpole vor als sonst im allgemeinen am Himmel.

Nach der Ansicht vieler Astronomen ist die Milchstraße selbst ein Nebel. Meistens wird angenommen, daß sie sehr nahe einem Spiralnebel entspräche, eine Ansicht, die von dem holländischen Astronomen Easton warm verfochten wird. (Fig. 2.) Vor einigen Jahren sprach sich Professor Bohlin dahin aus, daß die Milchstraße am nächsten einem Spiralnebel, oder richtiger, einem Ringnebel entspräche, der aus einem planetarisch-ellipsoidischen Nebel dadurch entstanden wäre, daß die gasförmige Materie von dessen Polen zum Äquator niedergetrieben wurde. Das ist von einem gewissen Interesse insofern, als diese Theorie an Swedenborgs — übrigens unwahrscheinliche — Hypothese von dem Ursprung der Planeten im Sonnensystem anklängt. Wie wir weiter unten sehen werden, ist Eastons Auffassung sehr wahrscheinlich.

Auch ihrem Alter nach ordnen sich die Sterne in Beziehung zur Milchstraße. Aus mehreren Gründen denkt man sich die Entwicklung der Sterne folgendermaßen. Am Anfang befindet sich die Materie des Sterns im Nebelzustande und strahlt hierbei ein für gewisse glühende Gase, besonders für die beiden leichtesten, Wasserstoff und Helium, sowie für ein noch unbekanntes, Nebulium (Nebelstoff) genanntes Gas charakteristisches Licht aus. Dann verdichten sich diese Gase und es beginnen neben ihren leuchtenden Linien auch dunkle Linien aufzutreten. Sterne dieser Klasse nennt man nach ihren Entdeckern Wolf-Rayet-Sterne. Sie kommen nur in der unmittelbaren Nähe der Milchstraße vor. Auf einer weiteren Entwicklungsstufe befinden sich die sogenannten Heliumsterne, in deren Spektrum dunkle Heliumlinien vorherrschen. Diese Sterne stehen in dichter Menge rings um die Milchstraße. Etwas gleichmäßiger verbreitet, aber doch hauptsächlich in der Nähe der Milchstraße, stehen die Wasserstoffsterne, die durch stark ausgeprägte Wasserstofflinien und etwas zurücktretende Heliumlinien gekennzeichnet sind. Diese Sterne sind in einem weiteren Stadium der Entwicklung als

die Heliumsterne und bilden mit diesen zusammen die Klasse der nach ihrem weißen Lichte genannten weißen Sterne. An diese schließen sich die gelben Sterne an, zu denen unsere Sonne gehört, mit dunklen Metalllinien im Spektrum. Sie sind gleichmäßiger verteilt als die vorgenannten Gruppen, noch mehr ist dies der Fall bezüglich der Verteilung der roten Sterne, die durch ihre sogenannten Bandenspektren das Vorhandensein chemischer Verbindungen erkennen lassen und so eine schon ziemlich weit vorgeschrittene Erkaltung verraten. Diese letzteren sind am gleichförmigsten über den ganzen Himmel hingestreut, doch stehen sie etwas dichter in der Nähe der Milchstraße als in weiterer Entfernung von derselben.

All dieses geht aus folgender Statistik von E. C. Pickering, dem berühmten amerikanischen Astronomen in Boston, hervor. Pickering teilt die Himmelskugel in vier gleiche Teile ein, deren erster der Milchstraße am nächsten liegt und diese mit einschließt, während der letzte die Pole der Milchstraße umgreift. Die Tabelle gibt die verschiedenen Sterne nach prozentualen Verhältnis in den vier Distrikten an.

Mittlere Milchstraßenbreite	Heliumsterne	Wasserstoffsterne	Gelbweiße Sterne	Gelbe Sterne	Rote Sterne
± 8.1°	51.2	37.4	29.7	29.4	26.7
± 21.6°	31.7	28.6	27.9	26.7	27.6
± 39.8	11.9	18.3	21.1	21.9	23.6
± 62.3	5.2	15.7	21.3	22.0	22.1
Zahl der beobachtet. Sterne	716	1885	1329	1719	457

Die Unterschiede zeigen sich am stärksten in den beiden ersten Gruppen, in den drei letzten sind sie gering, jedoch nicht abzuleugnen. Eine gleichförmige Verteilung

der Sterne über den ganzen Himmel würde 25% für jede der vier Abteilungen erfordern.

Aus dieser großen, 6106 Sterne umfassenden Statistik geht mit Wahrscheinlichkeit hervor, daß sich die Sterne in ihrem ersten Entwicklungsstadium in der Milchstraße befanden und sich mit der Zeit und je älter sie wurden von ihr entfernten. Das erweckt den Gedanken, daß sie aus den unregelmäßigen Nebelmassen, die in der Milchstraße und in ihrer nächsten Nachbarschaft sich befanden, hervorgegangen sind; oder, besser gesagt, daß sie aus Nebelmassen, die einst in jenen Räumen vorhanden gewesen sind, sich zu Sternen verdichtet haben. Das stimmt sehr gut mit anderweitigen Erfahrungen überein. Mit Hilfe des Spektroskops hat man die Bewegung verschiedener Sterne in Beziehung zu demjenigen Punkt, an dem jetzt die Sonne steht, bestimmt. Diese Bewegung hat sich als um so geschwinder erwiesen, je älter die betr. Sterne sind, wie aus der untenstehenden, hauptsächlich den Untersuchungen des berühmten Astronomen Campbell entnommenen Tabelle ersichtlich ist. Es ist die mittlere Geschwindigkeit

der unregelmäßigen Nebel . . .	0	Km. pr. Sek.
„ Wolf-Rayet-Sterne . . .	4.5	„ „ „
„ Heliumsterne . . .	6.5	„ „ „
„ Wasserstoffsterne . . .	11	„ „ „
„ gelben Sterne . . .	15	„ „ „
„ roten Sterne . . .	17	„ „ „
„ planetarischen Nebel . . .	25	„ „ „

Zu diesen Zahlen muß infolge neuerer Untersuchungen noch folgendes hinzugefügt werden:

Die den verschiedenen Gruppen angehörenden Sterne liegen in verschiedener mittlerer Entfernung von uns. Die roten Sterne stehen uns am nächsten und sind darum leichter sichtbar als die anderen. Infolgedessen sind in diese Gruppe der Campbellschen Statistik im Mittel kleinere

Sterne aufgenommen worden als in die anderen Gruppen. Es ist aber wohl, wie Halm annimmt, denkbar, daß kleine Sterne eine größere Geschwindigkeit besitzen als große, ähnlich wie in einem Gemenge verschiedener Gasmoleküle, womit der geistreiche französische Forscher H. Poincaré das Sternengewimmel vergleicht, die schwersten Moleküle sich am langsamsten bewegen. W. S. Adams von der Sternwarte auf Mount Wilson hat nun Sterne von gleicher mittlerer Eigenbewegung, die als gleich weit von uns entfernt betrachtet werden, miteinander verglichen und ist, in Bestätigung der Halmschen Annahme, zu folgender Berichtigung obiger Zahlen gelangt: Die Geschwindigkeit der Wasserstoffsterne wurde von 11 auf 7,5 Km., die der gelben Sterne von 15 auf 9,2 Km. und die der roten Sterne von 17 auf 14 Km. pr. Sekunde reduziert, während die Heliumsterne ihren Wert beibehielten. Die Reihenfolge der Sternengruppen nach ihrer Geschwindigkeit wird dadurch nicht berührt.

Über die Geschwindigkeit der planetarischen Nebel hat Campbell eine große Zahl von Messungen ausgeführt, denen zufolge diese großen Gebilde eine mittlere Geschwindigkeit in der Beobachtungsrichtung von nicht weniger als 42 Km. pr. Sekunde besitzen.

Auch betreffs der größten unter den unregelmäßigen Nebeln, des Orionnebels, sind in jüngster Zeit interessante Untersuchungen ausgeführt worden. Drei Astronomen in Marseille, Bourget, Fabry und Buisson fanden, daß ganz nahe aneinander liegende Teile des Nebels in der Nähe des sogenannten Trapezes Geschwindigkeitsunterschiede von etwa 10 Km. pr. Sek. zeigten, indem der nordöstliche Teil sich von uns entfernt, der südwestliche Teil sich uns dagegen nähert. Es findet demnach an dieser Stelle ohne Zweifel eine kräftige Wirbelbewegung statt. Diese Beobachtung ist von dem Astronomen Frost in Chicago nach einer anderen Beobachtungsmethode bestätigt worden. Er fand Geschwindigkeitsunterschiede in der unmittelbaren

Nähe des Trapezes (die entferntesten Punkte lagen nur zwei Bogensekunden davon), die zu 11 Km. pr. Sek. sich beliefen. Wenn also die unregelmäßigen Nebel im Mittel stillstehen, können doch bedeutende lokale Abweichungen in ihnen vorkommen, was auf eine Umbildung hindeutet, die vermutlich in einer Anhäufung um das Drehzentrum herum resultiert.

Sehen wir zunächst von den planetarischen Nebeln ab, so zeigt es sich, daß die Urmaterie der Sterne im Raume, abgesehen von lokalen Störungen, still steht und daß die mittlere Geschwindigkeit der letzteren mit dem steigenden Alter wächst und sich einem Mittelwerte von ungefähr 18 Km. pro Sek. nähert. Das ist etwa das Tausendfache der Geschwindigkeit eines gewöhnlichen Schnellzugs. Unsere Sonne bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 20 Km. in der Sekunde gegen einen Punkt im Sternbild des Herkules, 30° nördlich vom Äquator.

Welche Kraft ist es nun, die die Bewegung der Sterne hervorbringt? Soviel wir wissen, keine andere als die Schwerkraft. Danach scheint es hier, als wäre die bewegungslose, neblige Urmaterie der Sterne der Schwerkraft nicht unterworfen. Das vorauszusetzen wäre doch etwas gewagt, da auch die Gase Gewicht besitzen und selbst die verdünntesten Teile des irdischen Luftmeeres wegen ihrer Anziehung durch die Masse der Erde einen barometrischen Druck ausüben. Die oben erwähnte Ruhe der unregelmäßigen Nebel wird wohl eher in den Zusammenstößen der Gasmoleküle ihre Ursache haben, die selbst in so äußerst verdünnten Gasmassen, wie sie in den Nebeln vorhanden sind, häufig erfolgen. Dadurch werden ihre Geschwindigkeiten gegeneinander ausgeglichen, so daß die verschiedenen Teile der Gasmassen nach kurzer Zeit sich gegenseitig zum Stillstand bringen. Die unregelmäßigen Gasnebel rings um die Milchstraße bilden solchergestalt ein zusammenhängendes Ganze (vgl. S. 45). Anders liegt es bei den verdichteten Himmelskörpern, wie es die Sterne sind. Diese können sich

im dicksten Sternengewimmel Billionen Jahre lang bewegen, bevor sie mit einem ihresgleichen zusammenstoßen. Dagegen können sie in die Nebelmassen hineingeraten und von diesen allmählich eingefangen werden. Die Sterne, die oben erwähnt wurden, sind solche, die sich außerhalb der Nebelhülle bewegen. Sie bewegen sich also frei, und je länger sie unter der Einwirkung der Schwerkraft gewesen sind, ohne durch Zusammentreffen mit Nebelmassen gehindert worden zu sein, mit anderen Worten, je länger die Zeit ist, seit sie aus dem Nebel, aus dem sie hervorgegangen, ausgetreten sind, desto lebhafter ist ihre Bewegung. Natürlich kann ihre Geschwindigkeit (im Mittel) nicht über eine gewisse Grenze hinausgehen, die in unserem Teil des Himmelsraums ungefähr 18 Km. pr. Sekunde beträgt. Campbells Messungen zeigen, daß für die jüngsten Sterne (mit Ausnahme der roten) die Geschwindigkeit in der Ebene der Milchstraße am größten ist, was auch begreiflich ist, da die anziehende Materie am reichlichsten in dieser Ebene vorkommt.

Eine noch größere Geschwindigkeit haben die planetarischen Nebel, obwohl sie sich im ersten Entwicklungsstadium befinden, da sie doch aus Nebelgasen bestehen. Neuere Untersuchungen von Slipher und Campbell, wie auch von M. Wolf, haben gezeigt, daß sowohl die planetarischen als auch die spiralförmigen Nebel Geschwindigkeiten besitzen, die mitunter bis zu Hunderten von Km. in der Sekunde gehen und im Mittel den oben für die planetarischen Nebel angegebenen Wert bedeutend übertreffen. Das zeigt, daß sie von anderer Beschaffenheit sind als die unregelmäßigen Nebel, die die Muttersubstanz der Milchstraße sind. Eine nähere Untersuchung der wenigen — nur 13 — planetarischen Nebel, die von dem amerikanischen Astronomen Keeler bestimmt worden sind, zeigte mir, daß sie gegen die Milchstraße von deren Polen her mit mäßiger Geschwindigkeit ankommen und dann, unter der Einwirkung der Gravitation, ihre Bahn krümmen und, ihre Geschwindig-

keit stark steigernd, schließlich in den nächsten Teil der Milchstraße in gewaltigem Lauf hineinstürzen.

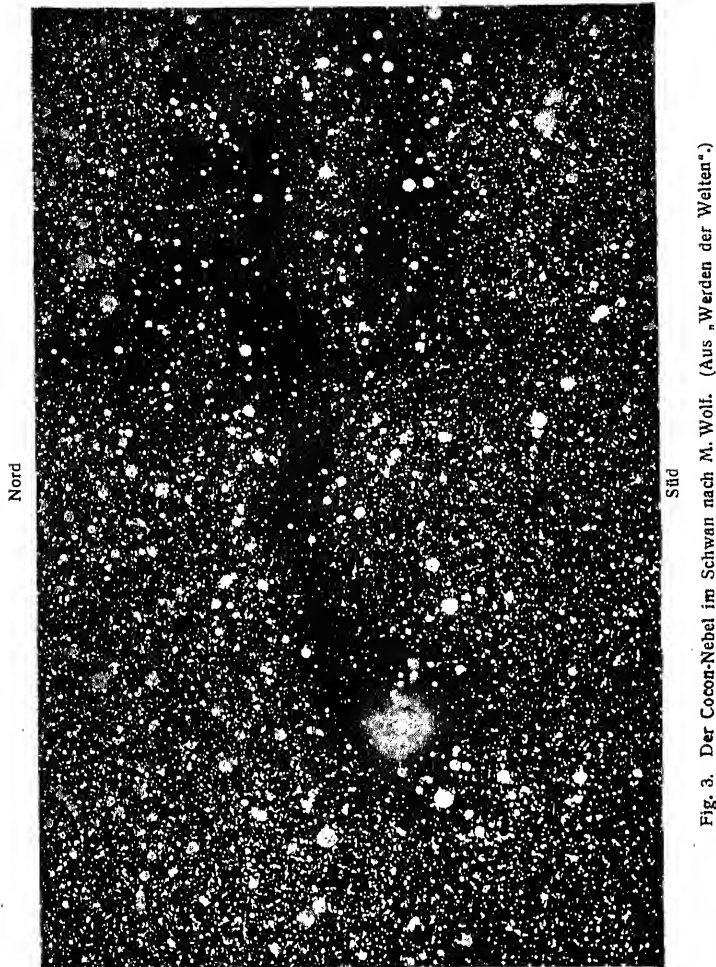


Fig. 3. Der Cocon-Nebel im Schwan nach M. Woll. (Aus „Werden der Welten“.)

Ein großer Teil dieser Himmelskörper wird unzweifelhaft durch die Gravitation von den Nebeln oder den Sternmassen der Milchstraße eingefangen, welche vielfach mit



ihnen zusammenstoßen und die in ihrem Wege liegende Materie wegfeegen. Solche leergefegte Lücken sind in der Umgebung der Milchstraße sehr häufig. Eins der schönsten Beispiele ist der sogenannte Coconnebel im Sternbild des Schwans, wo der von außen eindringende Nebel einen dunklen Kanal hinter sich gelassen hat, auf dessen Grunde, nach der Beschreibung von dem deutschen Astronomen Wolf, doch noch eine Anzahl äußerst kleiner, offenbar sehr weit entfernter Sterne aufglimmen. Vgl. Fig. 3.

Die große Geschwindigkeit der planetarischen Nebel deutet darauf hin, daß sie ursprünglich nicht dem Milchstraßensystem angehört haben. Böhlin kommt aus anderen Gründen zu demselben Schlusse. Trotzdem sind sie in der Nähe der Milchstraße reichlicher vorhanden als in anderen Teilen des Himmels. Auf den ersten Blick könnte daraus geschlossen werden, daß sie doch zur Milchstraße gehören, indessen ist es begreiflich, daß sie infolge der Anziehungskraft zur Milchstraße hineingetrieben worden sind.

Eine der merkwürdigsten astronomischen Entdeckungen der letzten Jahre ist von Kapteyn gemacht worden, der sich dadurch, wie auch durch seine anderen bedeutenden Arbeiten wohl einen der ersten Plätze unter den gegenwärtigen Astronomen gesichert hat. Er fand, daß die Sterne, die in der Umgebung der Sonne dahineilen, zwei großen Gruppen angehören, von denen die eine vom Sternbild des Orion herkommt, die andere dagegen in fast rechtem Winkel ( $90^\circ$ ) dazu von dem Sternbild des Skorpions. In der ersten Gruppe befinden sich fast alle untersuchten Heliumsterne. Da diese, wie wir oben gesehen haben, in Beziehung zur Milchstraße beinahe stille stehen, während die unregelmäßigen Nebel in derselben Beziehung zur Milchstraße ganz bewegungslos sind, so folgt, wenn wir (wie es natürlich ist) alle astronomischen Messungen auf die Milchstraße als Vergleichsbasis zurückführen, daß die gegen die Sonne gerichtete Bewegung der erstgenannten Sterngruppe haupt-

sächlich auf der eigenen Bewegung der Sonne relativ zur Milchstraße beruht. Von dieser Sterngruppe hat Kapteyn gezeigt, daß die obengenannte Regelmäßigkeit mehr ausgeprägt ist als für die Sterne im allgemeinen, indem die Heliumsterne sich am langsamsten, die gelben Sterne in Beziehung zur Sonne sich am schnellsten bewegen, während die Wasserstoffsterne eine Mittelstellung einnehmen. Das ist ohne weiteres aus der eigenen Geschwindigkeit der Sterne in Beziehung zur Milchstraße, die von den Heliumsternen zu den gelben Sternen ansteigt, zu verstehen.

Kapteyn hat noch eine andere Regelmäßigkeit bezüglich dieser Sterngruppe gefunden, die leicht erklärlich ist. Wie oben ausgeführt, haben die gelben Sterne sich am weitesten, die Heliumsterne am wenigsten von ihrem ursprünglichen Orte im Schoße der Milchstraße entfernt. Es scheinen darum die gelben Sterne (im Mittel) von einem Punkte herzukommen, der weiter von der Milchstraße abliegt als derjenige, von dem die Wasserstoffsterne ausgehen, der einerseits wieder weiter von der Milchstraße entfernt ist als der Punkt, von dem die Heliumsterne herzukommen scheinen. Die gelben Sterne bewegen sich mit ihrer vergleichsweise großen Geschwindigkeit in verschiedenen Richtungen und es scheint daher, daß der Strom derselben weiter zerstreut ist als der der Wasserstoffsterne, während die Heliumsterne sich in nahezu parallelen Bahnen bewegen, fast in der Richtung entgegen, in der die Sonne sich gegen die Milchstraße bewegt.

Ähnliche Regelmäßigkeiten sind von Kapteyn auch bei der zweiten Gruppe gefunden worden. Wie Kapteyn annimmt, sind also auch diese Sterne aus einer Urnebelmasse hervorgegangen, die, aus unbekannten Fernen in unsere Räume gelangt, während der Zeiten aber eben zur Ausbildung dieser Sterne verbraucht worden ist. Auch hier werden die gelben Sterne sich weiter von dem Urnebel entfernt haben als die weißen Wasserstoffsterne. Heliumsterne sind in so äußerst geringer Zahl in dieser zweiten

Gruppe vorhanden, daß eine genügend zuverlässige Statistik für sie noch nicht möglich ist.

Eine der schwersten Aufgaben der Kosmogonie war es, sich eine Vorstellung von dem Ursprung der Milchstraße zu bilden. Wir sehen wohl beinahe alljährlich, wie neue Sterne aufflammen, um bald zu verblassen und nach einigen Jahren zu ihrer alten Unscheinbarkeit zurückzukehren, indem sie meistens dem bloßen Auge entschwinden. Oft kann man noch mit mächtigen Fernrohren einen äußerst schwachen Stern an ihrer Stelle finden. Am häufigsten bildet sich einige Monate nach dem Aufleuchten ein den planetarischen Nebeln gleichender Nebelfleck. Bald nachher bildet sich der Nebel zu einem Wolf-Rayet-Stern um. Es ist von besonderem Interesse, daß Wright neuerdings fand, daß die zentralen Sterne in gewissen planetarischen Nebeln vom Wolf-Rayet-Typus sind. Aus guten Gründen nimmt man an, daß die neuen Sterne als Folge eines Zusammenstoßes zwischen zwei lichtschwachen oder vielleicht erloschenen Himmelskörpern aufgeflammt sind. Neue Sterne treten auch dort am Himmel auf, wo die Sterne sehr dicht stehen, besonders in der Milchstraße und in ihrer Nähe.

So sehen wir bei wiederholten Gelegenheiten, wie ein Nebel mit den in ihm eingeschlossenen zentralen Sternen entsteht. Das erinnert an die Milchstraße mit ihren Nebeln und Sternen und man hat darum versucht, auf diesem angedeuteten Wege sich der Lösung des Milchstraßenrätsels zu nähern. Dem steht aber eine Schwierigkeit entgegen, nämlich der Umstand, daß die Sterne, durch deren Zusammenstoß die „neuen Sterne“ entstehen, sehr klein sind, wahrscheinlich kleiner als unsere Sonne, während die in der Milchstraße angesammelte Masse wahrscheinlich Milliarden mal so groß ist als die Masse der Sonne. Wir kennen wohl einzelne Sterne, wie Arkturus, die wahrscheinlich vieltausendmal größer sind als die Sonne, aber teils geben nicht einmal zwei derselben die Masse der Milchstraße her, und andernteils ist die Wahrscheinlichkeit, daß

zwei solch selten großer Sterne sich begegnen sollten, so außerordentlich gering, daß man so etwas als ganz außer Betracht kommend bezeichnen darf.

Kapteyns Sternentrifte, die viele Tausende, gewiß Millionen Sterne enthalten, scheinen eine Möglichkeit zur Lösung des Milchstraßenrätsels anzuzeigen. Diese Scharen sind zu einer Zeit gewaltige Gasmassen gewesen, gewiß millionenmal größer als die Sonnenmasse. Sie haben auch eine Ausdehnung gehabt, die billionenmal größer war als diejenige der Sterne. Die Wahrscheinlichkeit, daß zwei solche Gasmassen sich begegnen, ist verhältnismäßig groß und braucht nicht viel kleiner zu sein als diejenige, mit der eine Sternentrift in die Milchstraße hineingerät, was eben, wie Kapteyn gerade jetzt gezeigt hat, sehr wohl der Fall sein kann.

Treffen zwei solche riesigen Gasmassen, beiderseits mit der kosmischen Geschwindigkeit von ungefähr 20 Km. pr. Sekunde, aufeinander, so dauert es gar nicht lange, bis die Gasmoleküle dort, wo sie sich durcheinander drängen, in ihren ursprünglichen Bewegungen gehemmt werden. Eine außerordentliche Verdichtung und Erwärmung findet innerhalb dieses Bezirks statt, während an anderen Stellen die Gasmassen verhältnismäßig kalt und verdünnt bleiben, weil sie dem Stoße zur Seite ausgewichen sind. Selbstverständlich tritt ein gewisser Ausgleich unter den nächst beieinander liegenden Schichten der zusammengestoßenen und unberührt gebliebenen Teile ein, und eine rasche Drehung derselben um eine im rechten Winkel gegen die Ebene der ursprünglichen Bewegungsrichtungen liegende Achse entsteht. Die am weitesten von der Drehungsachse entfernten Gasmassen setzen ihre Bewegungen im Raume in den ursprünglichen Richtungen fort. Die heißen, in der Nähe der Drehungsachse befindlichen Teile gleichen ihre Bewegungen gegeneinander aus, so daß sie eine drehende Gasscheibe bilden. Die in mittleren Entfernungen liegenden Gasmassen beschreiben Bahnen, deren Krümmung mit zunehmender

Entfernung abnimmt. Ein enorm großer Spiralnebel ist entstanden.

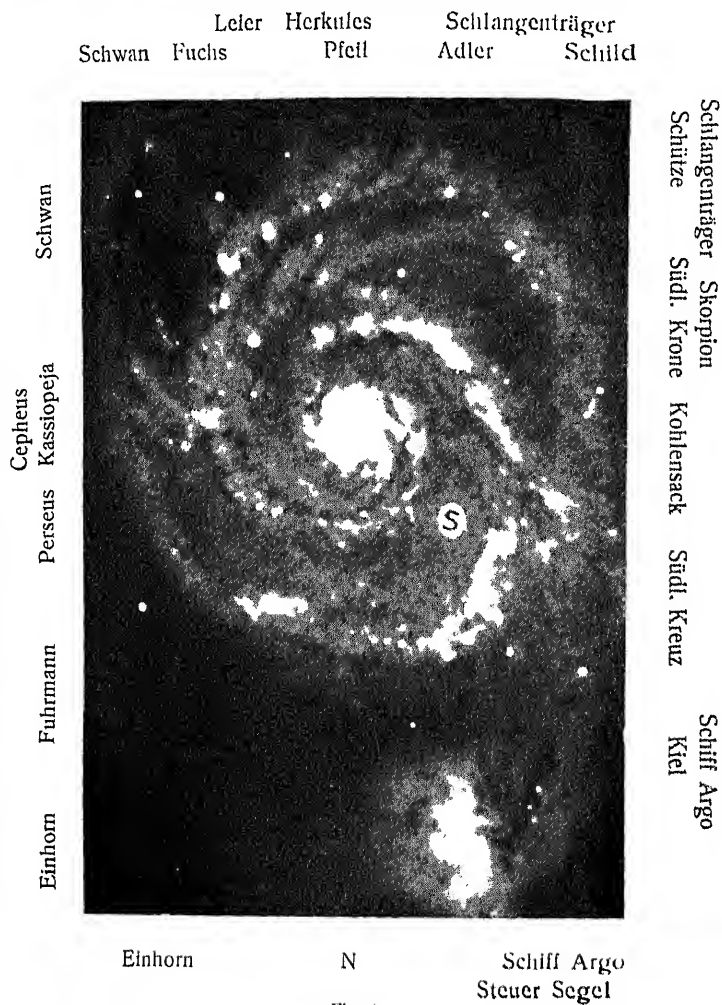


Fig. 4.

Spiralnebel in den Jagdhunden, 51 in Messlers Katalog, am 7. und 8. Februar 1910 in Mount Wilson in Kalifornien aufgenommen. Skala: 1 mm 5 Bogensekunden.

Es ist klar, daß die Milchstraße auf solche Weise entstehen konnte. Infolge ihrer Größe hat sie dann Massen umherirrenden kosmischen Staubes, wie auch kleinere

Himmelskörper und zuweilen auch größere, wie die oben besprochenen planetarischen Nebel, aufgesammelt.

Wie gut die Milchstraße sich als Spiralnebel auffassen läßt, sieht man aus der Abbildung des bekannten Nebels in den Jagdhunden (No. 51 in Messiers Katalog), einer mit unübertroffenen optischen Hilfsmitteln aufgenommenen Photographie von bisher unerreichtem Detailreichtum aus der neuen Carnegie-Sternwarte auf dem Mount Wilson in Kalifornien. (Fig. 4.) Schon sonst hat man die Milchstraße mit diesem Nebel verglichen, doch konnte die augenfällige Ähnlichkeit wegen der geringen Vergrößerungen früher sich nicht so deutlich geltend machen.

Angenommen, die Sonne stände im Punkte S der Figur etwas über der Bildebene, so erschiene der Nebel von dort aus in der Perspektive ungefähr so, wie uns die Milchstraße erscheint. In der Mitte sehen wir den starken Kern und links davon den Zwischenraum zwischen den beiden Zweigen der inneren Spirale. Weiter links erscheint nur die äußere Spirale, die sich zunächst nach links hin ausbreitet, wo sie näher an S herankommt, dann sich verschmälert, um sich infolge der starken Anhäufungen in dem unteren rechten Spiralteil des Nebels wieder zu verbreitern. Der Achse des Nebels entspricht der dichteste Teil der Milchstraße im Schwan; dem Auge in der innersten Spirale der leere Raum zwischen Cassiopeia und Cepheus; der weit entfernten Stelle im äußeren Spiralarm die Verjüngung beim Algenib; der darauffolgenden Verbreiterung die breite Partie im Fuhrmann und Einhorn. An der darauffolgenden schwächeren Stelle im Nebel sieht man den äußern Nebelklumpen, der in einem gewissen Grade den Magelhaenschen Wolken an unserem Sternhimmel entspricht, die zwar weiter weg von der Milchstraße liegen und auch in keinem Zusammenhang mit ihr zu stehen scheinen. Nun kommt eine kräftige Stelle im Nebel, der in unserem System die viel schwächere, aber doch stark leuchtende, wohlbekannte Stelle am südlichen Kreuz entspricht. Dann folgt am Stern Alpha im Centaur,

dem der Sonne im Raume nächsten großen Fixstern, dessen Abstand „nur“  $4\frac{1}{2}$  Lichtjahre oder ungefähr 40 Billionen Kilometer beträgt, eine Zweiteilung der Milchstraßen-Spirale und, merkwürdig genug, ebenfalls eine entsprechende im Nebel. Hinter dieser beginnt die äußere Spirale, die sich in dünner Linie von dem Nebelklumpen aufwärts erstreckt

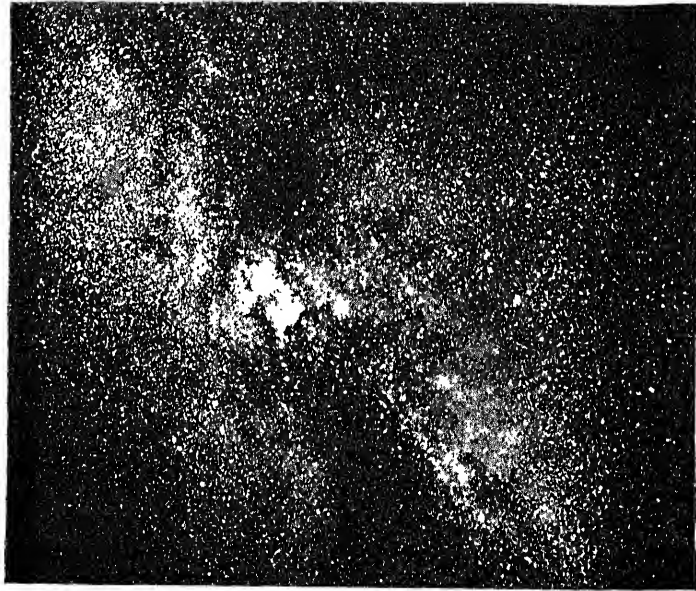


Fig. 5.

Die Milchstraße zwischen der Cassiopeja und dem Schwan nach einer Photographie von M. Woll in Heidelberg. Etwas links von der Mitte sieht man den schönen Nordamerika-Nebel.

und sich als schwaches Band bemerklich macht, während die innere Spirale oben bei S einen außerordentlich kräftigen Teil hat, der dem Teile der Milchstraße im Schilde und im Adler entspricht. Der Spalte im Nebel zwischen diesen beiden Zweigen entspricht die  $110^\circ$  lange „Spalte“ der Milchstraße zwischen den Sternbildern Winkelmaß und Leier. Zwischen den beiden Zweigen gehen nach Wolf so-

wohl in der Milchstraße wie in dem Nebel zahlreiche schwache Brücken.

Die Übereinstimmung ist schlechterdings über alles Erwarten gut. Natürlich sind die Einzelheiten etwas ungleich. Besonders spielt der zentrale Teil in der Milchstraße eine vergleichsweise untergeordnete Rolle, was den



Fig. 6.

Die Milchstraße in den Sternbildern A:ler, oben, und Schild, unten. Links oben sieht man den lichtstarken Stern Altair. Photographie von M. Wolf, Heidelberg.

Anhängern der Spiralnebeltheorie große Schwierigkeiten bereitete. Dieser Teil ist vermutlich ursprünglich kräftiger gewesen, durch Sternbildung aber verschwächt worden, wodurch z. B. die Lücke zwischen den Sternbildern der Leier und des Fuchses zustande kommen konnte.

Um von der Struktur der Milchstraße ein klares Bild zu geben, lasse ich einige von dem auch auf diesem Gebiet besonders verdienstvollen deutschen Astronomen Wolf in



Heidelberg aufgenommene Photographien folgen. Die eine (Fig. 5) zeigt den Teil der Milchstraße im Schwan mit dem Deneb in der Mitte, zu dessen Linken den bekannten, nach seiner Gestalt Nordamerikanebel genannten Nebelfleck. Oben über Deneb liegt die finstere „Höhle“ im Schwan, darunter eine nicht völlig so dunkle Kluft. Links von der Höhle liegt der krumme Kanal, der den oben erwähnten Coconnebel einschließt.

Das nächste Bild zeigt den hellen Stern Altair im Adler, links oben (Fig. 6), dicht neben dem starken Arm der Milchstraße im Adler. Weiter oben geht der schwächere Arm der Milchstraße durch den Schlangenträger. Der untere Teil enthält den hellsten Abschnitt der Milchstraße im Schild und in dem Schützen. Größere Sterne sind weniger zahlreich, aber die schwächeren sind unzählig. Sie sind in dichte Haufen zusammengedrängt und zwischen ihnen breitet sich der feinste Sternstaub aus. Wir sehen, wie das Sternenband sich in einzelne Flocken auflöst, die sich in den seltsamsten Formen umeinander wickeln. Im untersten Teil des Bildes erreicht diese Sternenvolke ihren höchsten Glanz.

Wir bringen nach Wolf ein weiteres Bild in größerem Maßstab (Fig. 7) von der Gegend des Sterns Gamma im Adler mit der nach ihrer eigentümlichen Gestalt so genannten „Dreispitzenhöhle“, in deren Nähe sich größere Nebel und Sternwolken befinden. Dieses Bild ist ein etwas abwechslungsreicheres Gegenstück zu der Photographie des Coconnebels nach Wolf. Es macht den Eindruck, als ob hier drei (oder vier) Himmelskörper von außen eingewandert wären, die Sterne in ihrem Wege weggefegt und reine Gassen hinter sich gelassen hätten. Wahrscheinlich haben sich andere „leere Stellen“ in der Nähe auf die gleiche Art gebildet. Manche sind wiederum der Ansicht, daß dunkle Nebelstreifen von den betreffenden Formen die dahinter stehenden Sterne verdecken. Diese Bilder geben uns eine Vorstellung davon, wie die jetzt existierenden Sterne der

Milchstraße aus der ursprünglichen Nebelmasse ausgeflokt worden sind. Man kann sich des Vergleichs mit den Flocken in der gerinnenden oder säuernden Milch kaum enthalten. Der berühmte französische Forscher Duclaux sagt



Fig. 7.  
Die dreigelobte Höhle im Adler nach M. Wolf, Heidelberg.

in seiner Mikrobiologie: „In Milch, die im Begriff ist, sauer zu werden, die aber noch vollkommen flüssig ist, gewahrt man mit dem Mikroskop eine Ausscheidung von feinen Punkten. Zu Anfang sind sie schwer erkennbar und nur durch eine geringe Verschiebung des Gesichtsfeldes zu entdecken. Nachher entwickeln sie sich zu ganz deutlichen, durch die Brownsche Bewegung gekennzeichneten Körn-

chen, die sich genau so benehmen, wie kleine Tonpartikelchen. Späterhin nimmt der Vorgang den Charakter einer stetig fortschreitenden molekularen Anhäufung an. Die Körnchen zeigen auch die Eigentümlichkeit der Tonpartikeln, zusammenzuklumpen und auszufallen.“

Die ersten Kondensationskerne in der Nebelmasse sind ohne Zweifel von außen eingewanderter kosmischer Staub und vielleicht auch größere, den Meteoriten und Kometen entsprechende Aggregate. Auf den Staubkörnern verdichten sich bei der herrschenden niederen Temperatur Gase aus der Umgebung in flüssiger Form, und mit Hilfe dieser entstehenden feuchten Außenschicht kitten sich die Körnchen zusammen, bis sie so große Aggregate ausmachen, daß die Schwerkraft stark genug wird, den abstoßenden Strahlungsdruck zu überwinden. Diese, von den Gasmassen in ihrer Eigenbewegung gehemmt, beginnen, der Schwerkraft folgend, sich aneinander zu legen. Dieser Anhäufungsvorgang wird von Wärmeentwicklung begleitet. Endlich sind kleine Sterne entstanden, die in Gruppen zusammenstehen, zwischen denen vergleichsweise wenig Materie enthaltende Räume dunkel daliegen, etwa so, wie die Molke zwischen den Körnern in der gerinnenden Milch. Noch sind die kleinen Himmelskörper von Gasen und Staub umgeben, das vermindert sich aber in dem Maße, als die Kondensation der Körperchen fortschreitet. Noch zeigen uns die photographischen Aufnahmen große Haufen von Staubwolken rings um die großen, zu den Heliumsternen gehörenden Sterne in den Plejaden (dem Siebengestirn). Diese Wolken sind aber so dünn in ihrer Masse, daß sie die großen Sterne in ihrem Lauf durch den Weltraum nur wenig behindern können. Der Kondensationsvorgang wird in hohem Maße beschleunigt, wenn umfangreiche Gasnebel, ähnlich wie der Coconnebel, einwandern. Zum Schluß werden alle Gase in dem neuen Stern verdichtet, d. h. seine Gas- und Staubhülle wird bis zur äußersten Verdünnung reduziert, so daß sie von einem andern Himmelskörper aus nicht mehr wahr-

genommen werden kann, vielleicht nur in der nächsten Umgebung sich bemerklich macht. Die später infolge von Reibung von dem schwachen Überrest der einstigen weit ausgedehnten Hülle eingefangenen kleinen Körperchen wandern als Planeten um die neue Sonne und fegen die letzten Reste der Materie in der Umgebung weg. Die Kondensation auf dem neuen Stern hat also ein „Loch“ in die Nebelmasse gehöhlt, indem ein Teil derselben nach und nach in Sterne und in deren Begleiter umgewandelt wurde, die aus dem Nebel heraustreten und sich am Himmel verbreiten.

Die Milchstraße scheint sich schon in einem sehr weit vorgeschrittenen Stadium dieses Vorgangs zu befinden. Das „unendlich Kleine“ zeigt bisweilen eine überraschende Ähnlichkeit mit dem „unendlich Großen“.

Wir sind nun imstande, uns eine Vorstellung von der Entwicklung des merkwürdigen Gebildes zu machen, aus dem die Mehrzahl der uns wahrnehmbaren Himmelskörper hervorgehen. Die Spiralnebel, die wir an den Polen der Milchstraße sehen, sind wahrscheinlich derartige Bildungen von bescheideneren Dimensionen. Sie verhalten sich zur Milchstraße wie vielleicht die kleinen Planeten zur Sonne. Nach neueren Untersuchungen scheinen die Spiralnebel eine außerordentlich große Geschwindigkeit zu haben und sind demnach wahrscheinlich von außerhalb nach der Milchstraße hingewandert.

In einem jüngst erschienenen Aufsatz zeigt F. G. Pease (von der Sternwarte auf Mount Wilson in Kalifornien), daß der Spiralnebel No. 4594 im Neuen General-Katalog sich um eine Achse, wie ein zusammenhängender fester Körper dreht, d. h. die Winkelgeschwindigkeit um die Drehungsachse ist überall dieselbe. Vermutlich hat er nur den zentralen Kern dieses Spiralnebels beobachtet. Sein Kollege van Maanen hat nämlich fast gleichzeitig gefunden, daß der Spiralnebel No. 101 in Messiers Katalog sich ganz anders verhält — van Maanen hat nur die Bewegung der Spiral-

arme gemessen. In diesen nimmt nicht nur die Winkelgeschwindigkeit der Nebelteile, sondern auch ihre absolute Geschwindigkeit mit steigender Entfernung vom Zentrum des Nebels ab. Diese Geschwindigkeit ist so groß, daß die äußeren Teile des Nebels nicht von den zentralen Teilen gefesselt werden, sondern in den unendlichen Raum hinauswandern. Die Bewegungen entsprechen demnach den Schlüssen auf S. 37. Der von F. G. Pease untersuchte Nebel entfernt sich von der Sonne mit der riesigen Geschwindigkeit von 1180 km pr. Sek. Die größten darin beobachteten Drehungsgeschwindigkeiten erreichen nicht weniger als 450 km. pr. Sekunde.

Zum Schluß noch ein Wort über die Dimensionen der Milchstraße. Bis jetzt hat sie noch nicht ausgemessen werden können und die Schätzungen sind noch ziemlich unsicher. Wolf schätzt ihren Durchmesser, d. h. den Abstand zwischen den beiden Spiralen an dem Punkt, wo die Sonne sich befindet, ungefähr 10 000 mal größer als die Entfernung von unserer Sonne bis zum nächsten Fixstern, Alpha im Centauren<sup>1)</sup>, die wiederum 10 000 mal größer ist als die Entfernung zwischen Sonne und dem äußersten der bekannten Planeten, Neptun, oder 300 000 mal so groß als die Entfernung der Erde von der Sonne. Dies wäre, in gebräuchlicher Weise ausgedrückt, etwa 40 000 Lichtjahre oder 400 000 Billionen Kilometer. Lord Kelvins Schätzung

---

<sup>1)</sup> Vor kurzer Zeit entdeckte der berühmte amerikanische Astronom Barnard einen sehr kleinen Stern (Größe 10,5) im Sternbild Schlangenträger (Rectascension  $17^h 58,7^m$ , nördliche Deklination  $4^\circ 27',4$  am 1. Jan. 1916), der etwa eben so weit als Alpha im Centauren von uns entfernt ist. Er hat die größte, bekannte Eigenbewegung: 10,3 Bogensekunden pro Jahr = 49 km pr. Sek. entsprechend. Er nähert sich der Sonne mit der sehr großen Geschwindigkeit von 91 km pr. Sek. Ein anderer Stern der II. Größe, der nur  $2^\circ,13'$  von Alpha Centauri entfernt liegt und dieselbe Eigenbewegung wie dieser Stern besitzt, wurde von Innes erforscht und „Proxima Centauri“ genannt, weil er uns 10 Prozent näher liegt als Alpha Centauri.

ist siebenmal kleiner, etwa 6000 Lichtjahre. Der mittlere Durchmesser mag etwa 5 mal größer, sagen wir rund hunderttausend Lichtjahre oder eine Million Billionen Kilometer betragen.

Einige neue Untersuchungen von Hm. Shapley, Astronom an der Mount Wilson-Sternwarte, werfen neues Licht auf diese Frage. In einigen Sternhaufen hat man viele veränderliche Sterne gefunden, die der Klasse der sogenannten Cepheiden angehörig sind. Es zeigte sich nun, daß nach den Bestimmungen von Bailey die verschiedenen Cepheiden in einem Sternhaufen, Nr. 3 in Messiers Katalog, einander sehr ähnlich sind, indem ihre Lichtstärken, als Mittel von dem Lichtmaximum und dem Lichtminimum, sehr wenig voneinander verschieden sind, während andere Sterne in demselben Sternhaufen um zehn Größenklassen sich unterscheiden können. Außerdem ist die Farbe der Cepheiden für alle fast gleich. Daraus schließt man, daß wahrscheinlich alle die genannten Cepheiden — 110 an Zahl — untereinander sehr nahe gleich sind in bezug auf Masse, Volumen und Temperatur sowie andere physikalische Eigenschaften.

In derselben Weise wurden nun andere Sternhaufen untersucht, und man fand für jeden Sternhaufen eine bestimmte Zahl der Lichtstärke der darin enthaltenen Cepheiden — man schloß dabei diejenigen aus, die eine längere Periode als einen Tag besitzen. Es lag nun die Annahme ganz nahe, daß auch die Cepheiden in verschiedenen Sternhaufen dieselbe absolute Helligkeit besitzen, obgleich sie uns verschieden lichtstark erscheinen, weil sie verschieden weit von uns entfernt sind. Hieraus kann man die relative Entfernung der betreffenden Sterne bestimmen.

Nun sind es nur wenige Sternhaufen, die veränderliche Sterne enthalten. Um die relative Entfernung der übrigen Sternhaufen zu ermitteln, mußte man eine neue Methode erfinden. Es zeigte sich, daß die mittlere Lichtstärke der kräftigsten Sterne in einem bestimmten Verhältnis zu der-

jenigen der Cepheiden steht. Jene ist dieser um 1,35 Größenklassen überlegen. Also konnte man auch aus der Messung der Lichtstärke der hellsten Sterne in den Sternhaufen ihre relative Entfernung von uns bestimmen.

Weiter war es ja wahrscheinlich, daß andere Cepheiden, welche nicht in Sternhaufen liegen, sondern dem Milchstraßensystem angehören, auch untereinander gleich sind. Die verschiedenen Sterne dieser Gattung wurden untersucht — etwa 140 solche wurden in Betracht gezogen — und ihre Entfernung von uns in Lichtjahren geschätzt. Danach konnte man ebenfalls die absoluten Entfernungen der Sternhaufen mit großer Annäherung ausfindig machen.

Diese Entfernungen sind viel größer als die für Sterne gewöhnlichen. Auch die Cepheiden liegen meistens viel (im Mittel 2 bis 3 mal) weiter von uns als die Sterne von zehnter Größe, die im Mittel etwa 800 Lichtjahre (oder 8000 Billionen Kilometer, oder 50 Millionen mal weiter als die Sonne) von uns entfernt sind. Die Sternhaufen kommen nur in seltenen Fällen innerhalb eines Gebietes vor, das 5700 Lichtjahre zu beiden Seiten der mittleren Ebene der Milchstraße umfaßt und die überaus vorwiegende Mehrzahl der bekannten Himmelskörper einschließt. Nun haben Sliphers Messungen der Geschwindigkeiten von Sternhaufen gezeigt, daß sie sich in den meisten Fällen (sieben von acht) mit ungeheuren Geschwindigkeiten uns und wahrscheinlich der mittleren Ebene der Milchstraße annähern. Danach erscheint die Abwesenheit der Sternhaufen von der genannten Gegend etwas befremdend. Shapley spricht die Vermutung aus, daß sie sich bei der Annäherung an die Milchstraßen-Gegend auflösen und zu offenen Sterngruppen, die in dieser Gegend gewöhnlich sind, umwandeln. Eine solche Gruppe muß einem der Kapteyn'schen Sternentritte entsprechen, und man kann sich wohl vorstellen, daß die beiden genannten Tritte zwei aufgelösten Sternhaufen entsprechen, wovon der eine die Sonne einschließt sowie die Hauptmasse der bekannten

Sterne, der andere sich in der Milchstraßenebene bewegt. Die lokale Sternengruppe, zu der die Sonne gehört, schließt fast alle Heliumsterne, die stärker sind als der siebenten Größe, die überwiegende Mehrzahl der Wasserstoff-Sterne sowie große Mengen der gelben und roten Sterne ein. Die Zentral-Ebene dieser Gruppe liegt nicht mehr, sondern wahrscheinlich viel weniger als 30 Lichtjahre südlich von der Sonne. Die wirkliche Milchstraßenebene liegt etwa 175 Lichtjahre südlich von dem Mittelpunkt der lokalen Gruppe, deren Durchmesser etwa 2500 Lichtjahre beträgt.

Die geschlossenen Sternhaufen, unter welchen der nächste, Omega im Centauren, etwa 23 000 Lichtjahre von uns entfernt ist, liegen stark konzentriert oben und unten von den Ebenen, welche parallel der Milchstraßenebene in 5700 Lichtjahren Entfernung verlaufen. Dies zeigt, daß unser lokales System, das zum Milchstraßensystem gehört, mit dem Sternhaufensystem verbunden ist. Dieses System hat einen Mittelpunkt, der etwa 65 000 Lichtjahre von der Sonne entfernt ist und in der Richtung nach den Sternbildern Schütze und Skorpion hin liegt. Der Durchmesser dieses enormen Systems beträgt wenigstens 300 000 Lichtjahre.

Nach diesen neuesten Untersuchungen von Shapley (1918) gehören also die Sternhaufen gewissermaßen zum Milchstraßensystem, das demnach einen Durchmesser von wenigstens 300 000 Lichtjahren besitzt. Was wir bisher als das Milchstraßensystem angesehen haben, ist nur ein kleiner Teil von diesem enormen Gebilde, dessen fast unfassbar riesige Dimensionen uns durch die Untersuchungen der Sternhaufen enthüllt werden. Die einzelnen Sternhaufen besitzen Massenverhältnisse, die von der gleichen Größenordnung sind wie diejenige der Sammlung von Sternen, welche dem Milchstraßensystem mit Ausnahme der planetarischen Nebel und der Sternhaufen angehören.

Einer ungeheuren Qualle gleich schwimmt die Milchstraße in dem unendlichen Äther. Ihre Ausmaße verhalten



sich zu denjenigen der Erdkugel wie die Dimensionen dieser letzteren zu denen eines Atoms. Der irische Physiker Fournier D'Albe bezeichnet die Weltkugeln als die Atome, aus denen die großen Weltsysteme, wie die Milchstraße, in derselben Art aufgebaut sind wie die Erde und die anderen Gestirne aus den für uns unsichtbaren Atomen, deren Größe doch mit höchster Genauigkeit festgestellt ist.

In poetischem Schwunge zögert Fournier D'Albe nicht, dem Milchstraßenorganismus Leben zuzuerkennen. Eine gewisse Analogie mit einem Lebewesen kann ihr nicht abgestritten werden. Der große Nebel ist aus der Vereinigung zweier Individuen, zweier auf der Wanderung durch den Weltenraum sich begegnenden Nebel, hervorgegangen. Da lag nun der Neugeborene und streckte seine Fangarme in den kühlen Ätherwogen aus und wuchs und nährte sich von den kleineren Geschöpfen, die ihm der Wellenschlag zuführte. Nun ist er auf der Höhe seiner Entwicklung und beginnt dem Zerfall in seine Moleküle, die Sonnensysteme, entgegenzugehen. Diese aber, aus ihren Atomen, den Gestirnen, aufgebaut, stürzen hinaus und durchrasen in gewaltigem jugendlichem Taumel den Raum und leben ihr eigenes besonderes Leben. Allmählich werden sie durch die Wirkung des Strahlungsdruckes zum Teil zu Staß zerfallen, der einem neuen jugendfrischen Nebel zur Nahrung dienen wird. Der Hauptteil wird dem Kältetod anheimfallen und erst durch Zusammenstoß mit einem Nebel oder dichterem Himmelskörper in Form eines „neuen Sterns“ zu neuem Leben erweckt werden. Und so werden diese jungen Himmelskörper wiederum den Kreislauf des Daseins erfüllen und nach einer, im Verhältnis zu ihren Dimensionen auf Millionen Billionen Jahre zu schätzenden Lebensdauer, neuen Himmelsgebilden Dasein geben. Und so wird es in ewigem Kreisgang sich wiederholen.

---

### Kapitel III.

## Die klimatische Bedeutung des Wasserdampfes.

Vor etwa zweitausenddreihundert Jahren hat Aristoteles, der nahezu zwei Jahrtausende hindurch der allein Maßgebende in der Wissenschaft war, die Feuchtigkeit und die Wärme mit ihren Gegensätzen als die Grundprinzipien seiner Naturauffassung festgesetzt. Die vier Elemente, aus denen alles bestehen sollte, waren: Erde, mit den Eigenschaften trocken und kalt, Wasser, als das Feuchte und Kalte, Luft, das Feuchte und Warme, und endlich Feuer, das Trockene und Warme. Ohne Zweifel hat er sich dabei von den Lebensbedingungen der organischen Wesen, die ohne Wärme und Feuchtigkeit nicht bestehen können, leiten lassen. Man scheint allgemein geglaubt zu haben, daß alles Leben ursprünglich vom Meere ausgegangen und darum die Feuchtigkeit die erste Voraussetzung dafür auf Erden sei. Kälte zerstört das Leben, Wärme fördert es, doch ist eine Temperatur von 35 bis 40° für die Entwicklung des Lebens am günstigsten, während eine Steigerung darüber hinaus schädlich ist, so daß schon unter dem Siedepunkt des Wassers das Leben in noch höherem Maße geschädigt wird als durch die Erniedrigung der Temperatur unter den Gefrierpunkt. Die Geologen haben auch gefunden, daß die verschiedenen Perioden der Erdentwicklung durch ihre Feuchtigkeit oder Trockenheit am besten gekennzeichnet

werden. Um zu einem klaren Verständnis in dieser Hinsicht zu gelangen, wollen wir in Kürze überblicken, was wir von der Bedeutung der Feuchtigkeit oder Trockenheit der Perioden oder der Örtlichkeiten auf der Erdoberfläche für die Entwicklung des Lebens auf derselben wissen.

Ein jeder von uns kennt die drückende, mit Feuchtigkeit gesättigte Wärme, die uns beim Eintritt in ein Gewächshaus entgegenschlägt. Dem Leben der Gewächse und niederer Tiere ist sie förderlich, dem Menschen und den höheren Tieren aber ist sie nicht zuträglich. Im Freien kommt diese Gewächshausluft nur in den Tropen vor. Besonders das Gebiet des Kongo und die am Amazonas gelegenen Teile Brasiliens zeichnen sich durch feuchte Wärme und eine dadurch genährte märchenhafte Vegetation aus. Ich entlehne die folgende Schilderung solchen Klimas dem größten der jetzt lebenden Klimatologen, Julius Hann. „Der Temperaturunterschied zwischen den kältesten und wärmsten Monaten ist am Kongo sehr gering, zwischen einem halben und fünf Graden, im Mittel etwa dreiundeinhalb Grad. Der Unterschied in der Wärme zwischen Tag und Nacht ist dreimal so groß,  $9,5^{\circ}$ . Die trockene Jahreszeit wird immer kürzer, je mehr man sich dem Äquator nähert; in Equatorville und in Bangala bleibt sie gänzlich aus. In den regenfreien Monaten legt sich morgens und abends ein dicker feuchter Nebel über die Savannen. Oft wird die Sonne wochenlang von dicken, tief herabhängenden Wolken verdeckt. Nur zur Regenzeit kann man in den Pausen zwischen den Regengüssen den klaren Himmel erblicken. Die Regenzeit wird von furchtbaren, von Osten her kommenden Gewittern eingeleitet und abgeschlossen. In Luluaburg gewittert es an nicht weniger als an 106 Tagen im Jahre. In der trockenen Jahreszeit bringt der Westwind Staubwolken mit sich, die niederfallen. Die Bewölkung ist im Kongogebiet sehr groß, man hat dort eigentlich keine Monate mit klarem Himmel. Die Wolkenbedeckung des Himmels geht in Vivi bis 74 v. H. und

schwankt zwischen 63 v. H. im August und 83 v. H. im November. Der Feuchtigkeitsgehalt ist ebenfalls sehr hoch; er schwankt in Vivi zwischen 70 und 79 v. H., im Mittel um 75 v. H.; in Bolebo erreicht er sogar 79 v. H. Während der Regenzeit ist die Hitze zuweilen unerträglich drückend. Erstickende Dünste steigen von den in der Feuchtigkeit modernden Pflanzenresten auf. Die jährlichen Niederschläge erreichen keine besondere Höhe; sie schwanken zwischen 120 und 180 cm. In dem nahen Gabun ist der Himmel während der trockenen Zeit fast beständig ganz mit Wolken bedeckt.

Die entsprechenden Gegenden Südamerikas zeichnen sich teilweise durch eine noch größere Feuchtigkeit aus. In Iquitos am Amazonas steigt sie bis nicht weniger als 83 v. H. des Sättigungswertes. Der jährliche Temperaturunterschied beträgt nur ungefähr  $5^{\circ}$ . In Para ( $1.08^{\circ}$  südlicher Breite an der Küste) sinkt er auf  $1^{\circ}$  bis  $1,5^{\circ}$  herab. Zwischen Tag und Nacht sind die Temperaturunterschiede gewöhnlich bedeutend größer. Während der Regenzeit ist der Himmel zwischen den Wolkenbrüchen sehr klar. In den inneren Teilen Guyanas währt die Regenzeit von Ende April bis in den Juli oder August. In der regenfreien Jahreszeit fällt gewöhnlich starker Tau, wodurch die Feuchtigkeit sich sehr stark erhält. Sonne und Mond sind selten sichtbar; riesige Gewitter kennzeichnen den Anfang der Regenzeit.“

Ähnlich scheinen die Verhältnisse während der Steinkohlenperiode, die sich durch eine üppige Vegetation auszeichnete, gewesen zu sein. Die mächtigen Stämme der damaligen Bäume fielen in den wasserbedeckten Grund, auf dem sie gewachsen waren, und wurden dadurch vor der Verwesung geschützt. Sie verkohlten stattdessen, so wie der Torf in unseren jetzigen Mooren. Man glaubte darum früher, daß die Temperatur nicht sonderlich hoch gewesen wäre, Frech schätzte sie auf ungefähr  $12^{\circ}$ . Nachdem man aber auf Ceylon, von Keilhack 1914 beschriebene, Torf-

moore entdeckt hat, wo die mittlere Jahrestemperatur zu  $26^{\circ}$  C bestimmt worden war, wird man wohl zu der früheren, auf die Vegetation der Steinkohlenzeit gegründete Annahme eines viel wärmeren Klimas zurückkehren. Nach den aus jener Periode erhaltenen fossilen Pflanzenarten muß man annehmen, daß damals eine nahezu gleiche Temperatur auf der ganzen Erde geherrscht habe. Carthaus meint, daß die Luft zu jener Zeit nur sehr schwache Bewegungen hatte, weil die damaligen Bäume mit Riesenstämmen bei nur sehr schwachem Wurzelsystem stärkeren Winden nicht hätten widerstehen können. Der Himmel war von einer beständigen dicken Wolkendecke verhüllt, die nur ein schwaches Licht zur Erde durchließ. Die unbewegte Luft war fast vollständig mit Feuchtigkeit gesättigt. Die alles, was wir in der Gegenwart kennen, übertreffende Üppigkeit der Vegetation deutet auf einen günstigen hohen Kohlen säuregehalt der Luft. Das, in Gemeinschaft mit der Feuchtigkeit und der dichten Wolkendecke, bewirkte, daß die Sonnenwärme fast vollständig in den höheren Luftschichten zurückgehalten wurde, wo infolgedessen eine starke Zirkulation sich aufrecht erhielt. Dadurch glied sich die Temperatur zwischen den Polen und dem Äquator fast vollständig aus, und unter der Wolkendecke herrschte Tag und Nacht, Sommer und Winter eine gleichmäßige Wärme. Die fast stillstehende Luft füllte sich bei dem geringsten Temperaturwechsel mit dichten Nebeln. Der Mangel an Licht hinderte die Entwicklung von Blüten; die damaligen Pflanzen gehörten hauptsächlich zu den Klassen der Farnkräuter und der Schachtelhalme. Nadelhölzer waren verhältnismäßig noch sehr spärlich vertreten. Die Verhältnisse waren in den Sumpfgebieten, in denen die Vegetation sich entwickelte, fast ebenso wie in einem Gewächshause, dessen Fenster mit einem dichten Schleier verhängt sind und in dem deshalb eine ununterbrochene Dämmerung herrscht.

Unter dieser klimatischen Einförmigkeit entwickelte sich die Pflanzenwelt viel stärker als die Tierwelt. Die

dichten Wolkenmassen nahmen infolge ihrer Verdunstung in den oberen Schichten gewaltige Wärmemengen in den äquatorialen Gebieten auf, und der Wasserdampf und damit die Wärme wurden dann von den oberen heftigen Luftströmungen in die kälteren Gegenden geführt, wo sich neue Wolken bildeten. Der Wärmetransport, der gegenwärtig hauptsächlich von Meeresströmungen besorgt wird, die z. B. der norwegischen Küste und fast dem ganzen westlichen Europa das so milde und dem Leben und der Kultur günstige Klima bringen, fand damals mittelst der feuchten Luftströmungen statt. Diese letzteren gehen viel geschwinder und gleichmäßiger als die Meeresströmungen, sie werden nicht durch Küsten und Inseln aufgehalten oder abgelenkt und bewirken infolgedessen eine außerordentlich gleichmäßige Verteilung der Temperatur und schaffen überall ein maritimes Klima. Auch gegenwärtig herrscht in einer Höhe von ungefähr 10 000 m eine derartig ausgeglichene Temperatur in der sogenannten Stratosphäre, aber dieselbe ist sehr niedrig, nur etwa  $-60^{\circ}$  C, hat also keinen nennenswerten Gehalt an Wasserdampf und gibt folglich keinen Anlaß zu Wolkenbildungen. Die in den höheren Luftschichten zirkulierende Wärmemenge ist also ganz unzureichend, die darunter liegenden Luftmassen zu beeinflussen. Die Temperatur dieser letzteren hängt fast ausschließlich von der Erwärmung des Erdbodens durch die Sonnenbestrahlung ab, wenn keine Ausgleichung durch Meeresströmungen bewirkt wird. Dies gilt z. B. für die südlich vom 30. Grade südlicher Breite liegenden, fast gänzlich vom Wasser bedeckten Teile der südlichen Halbkugel. Selbstverständlich gab es auch während des vollen Verlaufs der Steinkohlenzeit einen Unterschied zwischen Pol und Äquator, doch war dieser sehr gering, vielleicht gegen  $10^{\circ}$ : Die hauptsächlichste Kohlenbildung ging unzweifelhaft dort vor sich, wo das Klima das ganze Jahr hindurch sich meistens gleich blieb.

Das entgegengesetzte klimatische Extrem, das trockene

Wüstenklima, ist in der Gegenwart weit verbreitet. Man kennt es in allen Weltteilen, außer Europa, wo kaum von Wüsten die Rede sein kann, wohl aber von Steppen, wo die Vegetation sich zur Zeit der Frühjahrsregen üppig entfaltet, aber bald in der Dürre des Sommers verschwindet. Eine besondere Art von Gewächsen hat sich diesem periodischen Wechsel von Regen und Trockenheit, strenger Winterkälte und brennender Sommerhitze angepaßt. Mehrjährige Pflanzen und besonders Bäume kommen im allgemeinen unter diesem schroffen Klimawechsel nicht fort. Dagegen hat sich die Tierwelt ihm recht gut angepaßt und sehr reich entfaltet.

Das Steppenklima ist nur eine Übergangsform zum reinen Wüstenklima, das allem Leben feindlich ist. Die täglichen sowohl wie die jährlichen Temperaturschwankungen sind hier ungeheuer. In der Nähe des Äquators sind die jährlichen, in der Nähe der Pole die täglichen Schwankungen weniger stark ausgeprägt, was eine Folge der gleichmäßigen Sonnenbestrahlung in den entsprechenden Zeiten ist. In der Sahara beträgt die tägliche Variation oft  $30^{\circ}$  bis  $40^{\circ}$ . Die niedrigste, von Foureau-Lamy 1898—99 beobachtete Lufttemperatur betrug  $-20^{\circ}$ , beinahe gleich der in den Küstengegenden der südlichen Ostsee. Die höchste Temperatur war  $48^{\circ}$ . Danach war der Unterschied beinahe  $70^{\circ}$ . Im oberen Ägypten ( $21.9^{\circ}$  n. Br.) schwankt die mittlere Temperatur zwischen  $16,3^{\circ}$  im Januar und  $34,1^{\circ}$  im Juli, während weiter nach dem Äquator zu, in Zentralafrika ( $8.1^{\circ}$  n. Br.  $23.6^{\circ}$  ö. L.) der Unterschied zwischen  $22.7^{\circ}$  im Dezember und  $29.6^{\circ}$  im April nur  $6,9^{\circ}$  betrug. In Kiachta ( $50.4^{\circ}$  n. Br.  $106.5^{\circ}$  ö. L.) in Sibirien erreichte der Jahresunterschied  $46^{\circ}$  (Januar  $-26.6^{\circ}$  und Juli  $19.1^{\circ}$ ). An kontinentalen Stationen geht die mittlere Tagesschwankung der Lufttemperatur bis zu  $12^{\circ}$ , während die tägliche Temperaturschwankung der Erdoberfläche bis zu  $50^{\circ}$  gehen, in Wüsten noch größer werden kann. In der Sahara kann es noch im Mai bei einer Maximaltemperatur bis  $50^{\circ}$  am Tage

in der Nacht frieren. In Schweden ist der Unterschied zwischen der höchsten und der niedrigsten Temperatur im Mittel  $6^{\circ}$  bis  $7^{\circ}$ , mit einem Maximum von  $10.4^{\circ}$  im Juli und einem Minimum von  $4^{\circ}$  im November. Dagegen fand Sven Hedin während seiner Reise in Tibet 1899—1902 eine mittlere tägliche Änderung von  $19^{\circ}$ , ganz unabhängig von der Höhe über dem Meere.

Unter dem schroffen Wechsel von großer Hitze am Tage und Kälte in der Nacht werden die Felsen zerklüftet und, wo es an einer bindenden Vegetation fehlt, werden die Gesteinstrümmer von den ungehemmten Winden nach und nach zu Staub und Sand vermahlen. Sven Hedin gibt von seiner letzten Reise in asiatischen Wüsten eine sehr anschauliche Schilderung davon. Die von den Sandstürmen zerfressenen Berge gleichen verfallenen Ruinen, Denkmälern eines alten Hochlandes. Der Sand ist in Ost-Turkestan zum Teil so fein zermahlen, daß der Staub nach Stürmen noch tagelang in der Luft schwebend bleiben und prachtvolle rote Sonnenuntergänge verursachen kann. Der Wind fegt den Sand zu langen, in der Windrichtung weiter wandernden Dünen zusammen. Der Sand ist eisenhaltig und darum in den gröberen Körnern rot, als feiner Staub rötlich-gelb. Wird er feucht, so nimmt er eine braune bis schwarze Farbe an. Nach Regenfällen führt das zu Tal fließende Wasser den Staub und den Sand als schlammige Masse mit sich fort, die sich allmählich beim Eintrocknen in einen knetbaren Teig verwandelt und wie ein Gletscher langsam die Abhänge hinuntergleitet, um schließlich in irgend eine große flache Senkung zu münden, die sie ausfüllt. Solche Schlammansammlungen nennt man in Persien „Kevire“. Sie werden an der Oberfläche trocken, bewahren aber inwendig ihre Feuchtigkeit. Infolge der Wasserverdunstung wird ihr Salzgehalt hoch konzentriert und das Salz wittert in trockenen Zeiten in weißen Massen aus. In anderen Gegenden, z. B. im Becken des Tarimflusses, tritt das Wasser zuweilen an den tiefsten Stellen, in den sogen. Bajirs (siehe Fig. 8).



die den Keviren gleichen, hervor, oder es sammelt sich zwischen den Sanddünen zu Salzseen an, die aber bald, vom Sande verweht und ausgefüllt, mit der Düne in der Windrichtung weiter wandern. Sie liegen in ihrer Längsrichtung

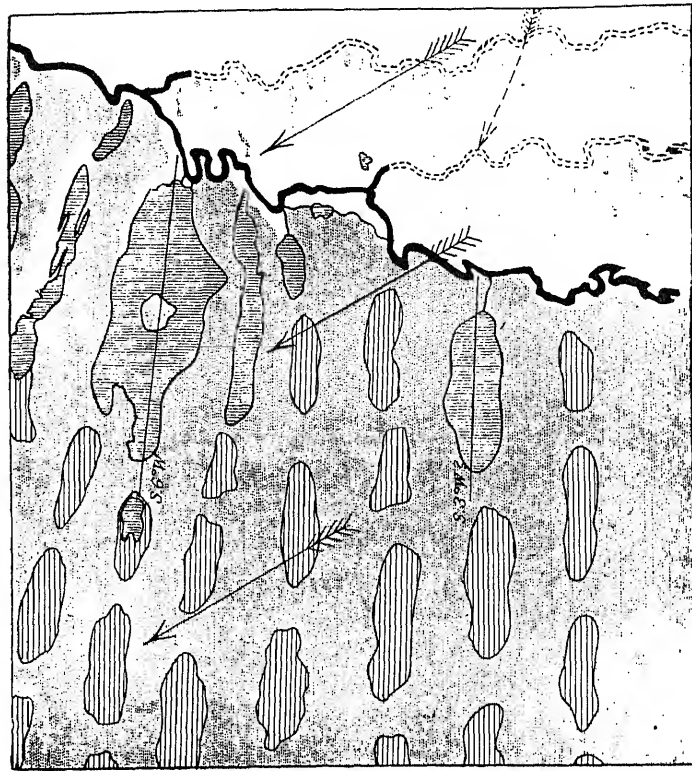


Fig. 8. Der Tarimfluß mit den anliegenden Seen und den Bajirs nach Sven Hedin.

»»» Vorherrschende Windrichtung.  
 »---» Wanderungsrichtung des Flusses.

□ Vegetation    ▨ Sand    ▤ Seen    ▥ Bajirs

parallel zueinander und fast rechtwinklig gegen den Tarimfluß an dessen rechtem Ufer. In der Verlängerung der Salzseen liegen die Bajirs in langen Reihen. Auf der beigegebenen Kartenskizze nach Hedin erscheinen sie wie die

Maschen eines Gewebes nebeneinander zu liegen. Diese Zerteilung des Geländes in Vierecke beruht auf der Dünenbildung. Die Hauptdünen mit ihren steilen Westseiten erstrecken sich von NNO nach SSW und stehen rechtwinklig gegen die vorherrschende Windrichtung. Fast rechtwinklig zu dieser Hauptrichtung verlaufen niedrigere von einem andern, häufig, aber nicht so oft, wie der Hauptwind, kommenden Winde aufgeworfene Dünen. Diese Erscheinung erinnert auffällig an die Schäfchenwolken, die nach zwei sich kreuzenden, oft rechtwinklig zueinander stehenden Richtungen geteilt sind. Diese Wolkenbildung entsteht infolge zweier ungleicher, von verschiedenen Winden erregten Wellenzügen in den höheren Luftschichten. Die Wolkenketten entsprechen den Wellenkämmen in einem bewegten Meere. Die Karte der Bajirs erinnert darum an ein Schachbrett mit etwas länglichen, unregelmäßigen Feldern.

Wir können uns nun der näheren Betrachtung des größten derartigen Gebildes, des großen Kevir in Persien, zuwenden. Dieser an der Oberfläche trockene moorartige See mißt 500 Km. in der Länge und 200 Km. an der breitesten Stelle. Hedin schätzt seine Fläche auf 55 000 qkm, so groß etwa wie den Michigansee, einen von den großen Seen Nord-Amerikas. Wegen der beständigen Zufuhr von Salz durch die Kevirzuflüsse und der Verdunstung an der Oberfläche entsteht nahe an der letztern eine Salzkruste von wechselnder Dicke. Hedin hat ein Loch durch die Kruste mit einem Eisenspieß schlagen lassen. Zuerst lag eine dezimeterstarke Decke von feuchtem Lehm, darunter die etwa 7 cm dicke Salzkruste gefolgt von einer halbtrockenen 15 cm mächtigen Lehmschicht. Dann kamen weichere Lehmlager, die immer wasserreicher wurden, je tiefer sie lagen. Hätte man nicht Obacht gegeben, so wäre der Spieß im Schlamm versunken. Von der im trockenen Zustand graugelben, ziemlich festen Kruste wurde ein Stück von einem Gelehrten namens Buhse untersucht. Es bestand zur Hälfte aus Sand (wahrscheinlich Quarzsand), zu einem

Sechstel aus Kalziumkarbonat, 6,1% Eisenoxyd (das die gelbe Farbe verursachte), 5,3% Kochsalz, 2,5% Natriumsulfat und 2,1% Lehm. Nach einem Regen wird diese obere Schicht zu einer plastischen Lehmmasse, die an den Kleidern der Leute und an den Körpern der Kamele fest haften bleibt, wenn sie darin ausgleiten. Nicht die mindeste Spur von Pflanzen oder anderem Lebendigen findet sich dort. Am Rande dieses Moors befinden sich kleine flache Erhöhungen und Senkungen, sonst ist die Oberfläche wagerecht, wie die eines gewöhnlichen Sees.

Der Kevir kämpft mit dem Sande, wie es auch das Wasser in Ostturkestan tut. Der Sand scheint in diesem Streite zu siegen. Nach Sandstürmen sind oft große Strecken des Kevirsees mit gelbem Wüstensand bedeckt. „Geht die Veränderung des Klimas in Persien in derselben Weise weiter,“ sagt Hedin, „so kann man als sicher annehmen, daß das Kevir-Schlammbad an Feuchtigkeit und an Zuflüssen verlieren und mit der Zeit immer fester werden wird und daß der Flugsand mit immer größerer Leichtigkeit sich ausbreiten und festen Fuß fassen wird.“ — Hedin kommt jedoch zu dem Schlusse, daß seit Alexanders des Großen Zug durch diese Gegenden sich nichts wesentlich verändert hat; er muß demnach hier mit sehr langen Zeiträumen rechnen. „Zweifellos wird aber die nun vorsichgehende physisch-geographische Veränderung damit enden, daß der Kevir vollständig in eine Sandwüste von derselben Art, wie die in Ostturkestan, verwandelt werden wird. Daraus kann man auch umgekehrt schließen, daß Ostturkestan, nachdem es einst ein Teil des Zentralasiatischen Mittelmeeres gewesen war, nach und nach mit fein zerteiltem Verwitterungsmaterial ausgefüllt worden ist, auf gleiche Weise wie der jetzige Kevir, und daß dieser erstarrende See von feuchtem Schlamm und Lehm endlich so weit ausgetrocknet ist, bis er die Last des vorrückenden Sandes zu tragen fähig wurde. Daß der Sand früher nicht so weit verbreitet war wie jetzt, geht aus archäologischen Ent-

deckungen hervor, die ich und andere Reisende in Ostturkestan gemacht haben. Der in den „Bajirs“ der Tjertjenwüste zutage liegende Untergrund erinnert stark an die Kevirgegend. In beiden Fällen ist es derselbe dunkle, feine Staub, der eine fast ebene Oberfläche bildet. In beiden Fällen verwandelt sich dieser Staub in Verbindung mit Wasser zu einem Schlamm, in dem man hoffnungslos versinkt, aber in Ostturkestan steht das Wasser in größerer Tiefe, und da es dort sehr selten regnet, so kann man, wo es auch sei, ungestraft über das ebene Bajirland gehen.“

Diese Bildungen sind von höchstem Interesse, denn sie zeigen uns die Veränderungen eines langsam austrocknenden Planeten. Im Jahre 1858 wurde von der geographischen Gesellschaft in Petersburg eine Expedition unter der Leitung von Khanikoff ausgesandt, die diese Gegenden besuchte. Aus Hedins Werk „Zu Land nach Indien“, dem auch das obige Zitat entnommen ist, entlehnen wir folgende, von Khanikoff gegebene, malerische Schilderung. „Endlich, am Morgen des 4. April, hielten wir in drückender Hitze bei Bala-haus. Hier konnte man noch Spuren einer zerstörten Zisterne sehen, die schon längst all ihr Wasser verloren hatte. Hier hatte die Wüste bereits ganz den Charakter des „verfluchten Landes“, wie die Eingeborenen sie nennen. Nicht der kleinste Grashalm, kein Zeichen tierischen Lebens machte die Aussicht erfreulicher, kein anderes Geräusch als der Lärm von Karawanen unterbrach die düstere Stille dieser Vernichtung. Wegen der Langsamkeit der Kamele und durch den Zeitverlust, den wir erlitten, da wir den Weg verloren hatten, legten wir in der Nacht nicht mehr als 25 Km. zurück. Nach einer Rast von vier Stunden setzten wir uns wieder in Marsch und steuerten unseren Kurs nach einigen, Kellehper genannten, Hügeln, etwa 20 Km. von Bala-haus. Man sah sie ganz deutlich, aber sie schienen wahrhaftig vor uns zu fliehen. Ich war der Karawane voraus und setzte mich am Fuße dieser Sandaufschüttungen hin. Niemals werde ich das Gefühl von

Wehmut und Niedergeschlagenheit beschreiben können, das mich bei dem Anblick der mich umgebenden schauerlichen Einsamkeit ergriff. Zerstreute Wolken verschleierten die Sonne, aber die Luft war heiß und drückend. Das zerstreute Licht beleuchtete mit einer verzweifelten Eintönigkeit die graue heiße Wüste und bewirkte kaum einen Farbenwechsel auf der ungeheuern Fläche, die der Blick überschaute. Die absolute Unbeweglichkeit an allen Punkten dieser traurigen Landschaft im Verein mit der vollständigen Abwesenheit eines jeden Lautes hatte eine niederdrückende Wirkung. Man fühlte, daß man sich an einer Stelle der Erde befand, von der das Leben auf ewig verbannt war und wohin Lebewesen nicht anders werden wiederkehren können als durch eine furchtbare Naturrevolution. Man fühlte, Zeuge vom Todeskampf der Natur zu sein.“

Trocknen nun diese Gegenden auch aus, was durch Hedins Beobachtung, daß das Wasser eines tibetanischen Binnensees, Lakker-tso, früher 133 m höher gestanden hat, wahrscheinlich gemacht wird, so ist doch diese Austrocknung nicht so augenfällig wie die in den salzigen Binnenseen, im Großen Salzsee in Utah, dem Toten und dem Kaspischen Meere, in denen sich der Salzgehalt infolge der Verdunstung sehr stark vermehrt. Vom Großen Salzsee weiß man, daß er noch vor ganz kurzer Zeit stärker austrocknete als jetzt. Sein Wasser enthält jetzt 22% Kochsalz außer anderen Salzen. Der Salzgehalt des Toten Meeres beträgt 25%. Sehr wechselnd ist der Salzgehalt des Kaspischen Meeres. An der Mündung der Wolga ist er natürlich gering, nur 0,15%, südwärts wächst er und beträgt 1,32% bei der Halbinsel Apscheron und 5,63% in der Kaidakbucht. In der auf asiatischer Seite gelegenen Bucht Karabugas steigt der Salzgehalt bis 28,5%. Man hat die Salzzufuhr in diese Bucht durch das vom Kaspischen Meer einströmende Wasser auf jährlich 350 000 Tonnen geschätzt, die sich am Strande und auf dem Grunde der Bucht absetzen.

Diese Eintrocknung ist gleichwohl verschwindend gegen diejenige, die zu der Bildung der großen Salzlager in Deutschland Anlaß gegeben hat. Man nimmt an, daß letztere nach und nach auf dem Grunde eines Polarmeeres mit einer nach Süden streichenden Bucht vor sich gegangen ist. In dem Maße als Salze, zuerst Gips, dann Kochsalz, danach löslichere Kali- und Magnesiasalze, auskristallisierten, strömten neue Wassermassen aus dem Meere in die Bucht. Gleichzeitig senkte sich der Grund der letzteren, so dem neuen abzdunstenden Wasser Platz bietend. Die so abgelagerten Salzmassen erreichen mitunter eine Mächtigkeit von mehr als 1000 m. Man kann sich danach einen Begriff machen von der Ungeheuerlichkeit der verdunsteten Wassermengen und von der gewaltigen, dazu erforderlich gewesen Zeit. Diese Salzlager wären aber schon längst wieder fortgeführt worden, wenn sie nicht zuletzt von einer für Wasser undurchlässigen Schlammschicht bedeckt worden wären. Die am leichtesten löslichen Salze, wie das Chlormagnesium, sind ja doch in großer Menge weggeführt worden.

Es ist ja natürlich, daß solche Extreme von Trockenheit und Feuchtigkeit des Klimas nicht gerade während der kurzen historischen Zeiten sich herauszubilden Zeit hatten. Doch ist die Frage, in welcher Richtung das gegenwärtige Klima sich weiter entwickeln wird, von ganz besonderem Interesse. Darum hat auch Huntingtons Darstellung, in der er den Beweis zu erbringen versucht, daß die Erde in der Gegenwart sich in einer Periode stark fortschreitender Austrocknung befände, großes Aufsehen erregt.

Aus geologischen Zeugnissen geht unzweifelhaft hervor, daß in verschiedenen Gegenden auf der Erde — soweit man weiß überall, mit Ausnahme von Australien — zugleich mit der Eiszeit eine feuchte Periode herrschte. Das wird von der einstigen größeren Höhe und folglich größeren Ausdehnung der Seen deutlich bewiesen, wie schon oben in bezug auf Tibet und Zentralasien erwähnt wurde. Am ausgeprägtesten war aber diese feuchte Zeit in Amerika und

Afrika. Der Große Salzsee hatte früher einen vielmal größeren Umfang als jetzt, was man an den schönen Strandterrassen in seiner Umgebung erkennen kann. (Fig. 9.)

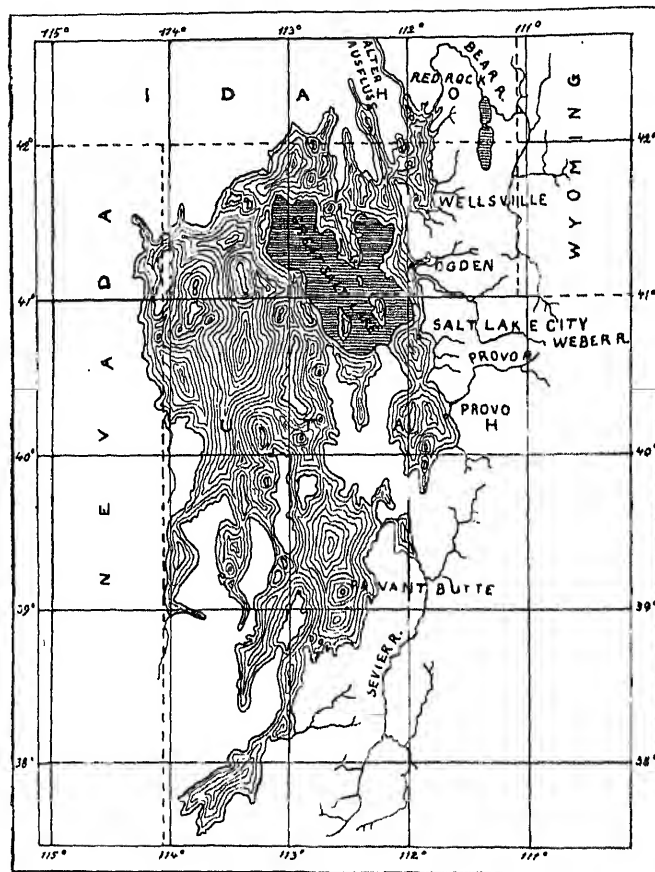


Fig. 9.

Die Ausdehnung des Lake Bonneville in Utah, von dem der Große Salzsee der Überrest ist.

Nach den Untersuchungen von Passarge war die feuchte Periode in Afrika besonders stark ausgeprägt. Ein großer Süßwassersee erfüllte das Kongobecken. Der Tsadsee war viel größer als jetzt und die Sahara war von großen Flüssen durchströmt.

Vielfach ist man geneigt anzunehmen, daß das afrikanische Klima selbst noch in historischer Zeit feuchter gewesen ist als jetzt. Dem widerspricht der Geograph Leo Berg in Petersburg mit großer Bestimmtheit. Er weist darauf hin, daß die alten Schriftsteller Diodoros, Polybios und Pausanias die Flüsse der afrikanischen Nordküste so beschrieben haben, wie es dem gegenwärtigen Zustand noch entspricht. Die Lage zweier antiker Städte am See Chott-el-Djerid (dem alten Lacus Tritonis) in Tunis, von dem behauptet wird, daß er 500 Jahre v. Chr. einen viel höheren Wasserspiegel gehabt hätte als jetzt, zeige deutlich, daß dessen jetzige Küstenlinie noch sehr nahe mit der damaligen übereinstimmt. Kenner des alten Ägypten können keinen irgendwie auffallenden Unterschied zwischen dem Klima dieses Landes in den ältesten Zeiten und dem jetzigen angeben. Gewiß sind die Sumpfstrecken im Nildelta in prächtiges Wiesenland umgewandelt worden, aber das ist das Werk von Menschenhand. Die feuchte Periode muß lange vor der historischen Zeit abgeschlossen haben. Mehrere alte Schriftsteller, wie Herodot, Aristophanes und Philo, behaupten, daß es in Ägypten niemals regne, was man aber nach der Aussage anderer, wie Plutarch, Plinius und Aelianus, die Regen, Schnee und Hagel daselbst erwähnen, für übertrieben ansehen muß. Immerhin scheinen Niederschläge im Lande der Pharaonen eine ebensolche Seltenheit gewesen zu sein wie im jetzigen Nilland.

Der Behauptung Huntingtons, daß das Klima in Palästina in historischer Zeit trockener geworden sei, hält Hilderscheid, auf genaue Untersuchungen gestützt, entgegen, daß sich durchaus kein Grund zu der Annahme für eine in historischer Zeit eingetretene klimatische Veränderung in jener Gegend finden lasse.

Von größtem Interesse für uns sind vielleicht Italien und Griechenland. Huntington behauptet, daß der Fluß Alpheios, der Olympia überschwemmt und mit einer 4 bis 5 m dicken Sedimentschicht bedeckt hat, damals weit grö-



ßere Wassermengen geführt hätte als jetzt. Jene Überschwemmung war aber die Folge eines von einem Bergsturz und dadurch bedingter Wasseranstauung begleiteten Erdbebens, weshalb man den Wasserreichtum des Flusses für damals nicht größer anzunehmen braucht als er jetzt ist. Nach Strabo trockneten die Bäche Kefissos und Ilissos, zwischen denen Athen liegt, im Sommer ebenso aus wie jetzt. Dasselbe Verhalten zeigen nach Pausanias die Bäche auf der argivischen Ebene, wie auch jetzt noch. Jedenfalls hat sich seit Homers Zeit das griechische Klima nicht merklich verändert.

Von Sizilien wird gesagt, daß einige Flüsse, die im Mittelalter schiffbar waren, es jetzt nicht mehr sind. Dies scheint jedoch eine Folge der Ausrodung von Wäldern zu sein, die früher den Wasserzufluß zu den betreffenden Flüssen mehr gleichmäßig hielten. Vielleicht sind auch die damaligen Schiffe kleiner gewesen als die jetzigen. Auch der Landbau ist in diesen Gegenden seit den Zeiten der Antike zurückgegangen und es kann darum der lockere, früher angebaute Boden weggespült worden sein, auch Mauern und Dämme, die einen allzu schnellen Ablauf des Wassers hinderten, mögen verschwunden sein, und so kann die Trockenheit des Landes zugenommen haben. Große Städte, wie Palmyra, standen in Wüsten, wo auch jetzt der Wassermangel jede Bebauung unmöglich macht. Die großen Städte wurden aber damals durch großartige lange Leitungen, deren Ruinen noch vorgefunden werden, mit Wasser versorgt. Soweit man beurteilen kann, beruht die Veränderung der Feuchtigkeitsverhältnisse, auf die man aus dem zurückgegangenen Landbau und aus der Abnahme der Bevölkerung schließen zu können glaubte, einzig und allein auf menschlichen Eingriffen in die Natur. An einigen Klippen in Marokko hat man eingehauene einfache Darstellungen großer Säugetiere, wie Elefanten, Nashörner und Giraffen, gefunden, die in jenen Gegenden wegen Mangel an geeignetem Futter nicht fortkommen können. Diese

rohen Kunstwerke, die denen der jetzt lebenden Buschmänner gleichen, gehören aber einer vorhistorischen Zeit, der paläolithischen, an, während welcher das Klima feuchter gewesen ist als jetzt.

Nach Hedin verhält es sich ähnlich in Zentralasien und im östlichen Persien. Zweifellos ist dort das Klima früher feuchter gewesen, aber nicht in historischer Zeit. Alexanders Zug nach Indien ging unter denselben ungünstigen Verhältnissen vor sich, wie sie jetzt noch in jenen Gegenden (Beludschistan) herrschen. Die Städte, deren Ruinen man dort findet, bezogen ihr Wasser durch nun verfallene Leitungen, mitunter aus nahen Flüssen, die, wie Berg hervorhebt, ihren Lauf verändert haben.

In West- und Mitteleuropa sind sicherlich zahlreiche Sümpfe und Moore abgegraben und zur Bebauung geeignet gemacht worden, aber daraus folgt noch nicht, daß das Klima trockener geworden sei. Im Gegenteil, alles deutet darauf hin, daß, wie Tycho Brahe schon auf der Insel Wen im Öresund beobachtet hat, der Unterschied zwischen der Sommer- und Wintertemperatur sich in historischer Zeit verringert hat, daß also das Klima weniger kontinental, feuchter, geworden ist. Im übrigen deutet alles andere, wie das Vorkommen des Haselstrauches und der Wassernuß in hohen nördlichen Breiten und die gegen früher niedriger gewordene Höhe der Baumgrenze, darauf hin, daß der vorhistorische Sommer wärmer war als der jetzige und gleichzeitig auch trockener. Die Untersuchung der Pfahlbauten in der Schweiz zeigt auch, daß die Seenspiegel nicht höher gewesen, sondern fast die gleiche Höhe gehabt haben wie jetzt, und daß daher die Niederschlagsmenge in der Schweiz seit jenen Zeiten, die gegen 7000 Jahre zurückliegen, sich nicht geändert hat.

Während also viele große klimatische Veränderungen seit dem ersten Auftreten des Menschen auf Erden, und zwar wohl vor Ende der Eiszeit, stattgefunden haben, ist die historische Zeit von solchen frei geblieben, da sie viel

zu kurz dazu ist. Veränderungen von mehr örtlicher Bedeutung, wie z. B. die Abschwächung des kontinentalen Charakters des Klimas in Westeuropa, sind erkannt worden. Seitdem man begonnen hat, regelmäßige Beobachtungen am Thermometer zu machen, ist eine solche Veränderung deutlich nachgewiesen worden. So waren die Winter in Berlin 1746—1847 kälter als in der nachfolgenden Zeit (1848—1907); die Sommer wiederum in dieser Periode wärmer als jene. Der Unterschied betrug für den Januar bis  $1,5^{\circ}$  C, für den Mai wiederum bis  $0,6^{\circ}$  C. Nach einer Zusammenstellung von Ekholm, betreffend die Temperaturen von Stockholm, Lund, London und Paris im Winter (Dez.—Febr.), Frühling (März—Mai), Sommer (Juni—Aug.) und Herbst (Sept.—Novemb.), waren diese im vergangenen Jahrhundert wie folgt:

	Stockholm		Lund		London		Paris	
	1799— 1848	1849— 1898	1753— 1798	1799— 1898	1799— 1848	1849— 1898	1806— 1848	1849 1898
Winter	-3.6	-2.0	-1.0	-0.6	3.6	4.0	3.3	3.3
Frühling	3.3	3.3	5.1	5.3	9.0	8.9	10.3	10.2
Sommer	15.6	15.6	16.1	15.7	16.6	16.8	18.1	18.2
Herbst	6.6	6.4	7.7	7.7	10.4	10.3	11.3	11.0
Jahr	5.5	5.6	7.0	7.0	9.9	10.0	10.7	10.7

Die Unterschiede sind nicht groß. In Stockholm ist der Winter wärmer, der Herbst kälter geworden; in London der Winter wärmer, auch der Sommer etwas wärmer, Frühling und Herbst unbedeutend kälter. In Lund ist der Gang am regelmäßigsten, das Jahresmittel ist fast unverändert, vielleicht ein wenig erhöht; das Klima ist aber mehr insular geworden. (Für Paris geht solches kaum aus den obigen Zahlen hervor.)

Aus Tycho Brahes Beobachtungen betreffs der Anzahl der Tage mit Schnee oder Regen auf Wen hat Ekholm die

Mitteltemperaturen in Celsiusgraden für die Monate Nov.—April 1582—1597 an besagtem Ort berechnet und mit den jetzigen verglichen. Er fand:

	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April
Wen 1582—1597	+3.0	+0.8	—0.9	—2.3	—0.3	+5.0
Wen 1881—1898	+3.7	+0.9	—1.1	—0.0	+0.7	+5.2

Diese Zahlen zeigen eine bedeutende Temperatursteigerung im Spätwinter (Febr.—März). Dagegen fiel der erste Herbstfrost und der letzte Frühjahrsfrost fast ganz auf denselben Tag in beiden Perioden — auf den 27. bzw. den 28. Oktober und den 18. bzw. den 19. April —. Es scheint sich also die Temperaturbeschaffenheit des Frühlings und Herbstes nicht geändert zu haben.

Neuerdings hat Hildebrandsson die Aufmerksamkeit auf einen Umstand gelenkt, welcher die Gefahr zeigt, welcher man bei Verwendung der Statistik betreffs relativ kurzer Zeiträume für allgemeingültige Schlußfolgerungen ausgesetzt ist. Speersneider hat nämlich (1915) erwiesen, daß die Periode 1582—1597 ungewöhnlich kalt war, indem während derselben nasse Winter mit schweren Eisverhältnissen an den dänischen Küsten eintrafen, während das ganze sechzehnte Jahrhundert nur deren neunzehn aufzuweisen vermag. Man darf daher die Statistik Tycho Brahes nur mit Vorsicht für allgemeinere Schlüsse verwenden.

Die Meinung, daß sich das Klima durch zunehmende Trockenheit allmählich verschlechtert, ist alten Datums und hängt mit dem alten Glauben an ein verschwundenes goldenes Zeitalter zusammen. Schon Aristoteles nahm an, daß die Erde langsam austrockne. Dieser Glaube ist in neuerer Zeit von Huntington in einer Menge von Schriften verteidigt worden, in denen er beweisen will, daß in Asien unter anderm Palästina, Syrien und Persien, ferner Afrika und Nord-Amerika sich in schneller Austrocknung befinden, die schon in historischen Zeiten ihre Spuren eingedrückt hat. Das Gegenteil gilt indessen für Westeuropa. Auch

über Rußland hörte man in letzter Zeit oft, daß daselbst eine langsame Austrocknung mit Steppenbildung vor sich gehe. Genaue Untersuchungen, die daraufhin angestellt wurden, zeigten die Unrichtigkeit einer solchen Annahme. Auch Leo Berg wurde dadurch zu seinen Untersuchungen veranlaßt. Es hat eher eine kleine Veränderung in entgegengesetztem Sinne eingesetzt, indem die Waldregion sich auf Kosten der Steppe auszubreiten begann, was mit der Entwicklung am Schluß der prähistorischen Periode übereinstimmt. Auch der berühmte amerikanische Astronom Lowell hat infolge eigener Beobachtungen in Arizona, wo seine Sternwarte liegt, sich jener Annahme angeschlossen. Indessen hat die Austrocknung auch dort, ohne Zweifel, schon in längst vergangener, vorgeschichtlicher Zeit stattgefunden. Daß die höhere Kultur in Mesopotamien und Syrien verschwunden ist, wird wohl verheerenden Kriegen zuzuschreiben sein, in denen die künstlichen Wasserleitungen zerstört worden sind. Gegenwärtig wird durch Bewässerung der Wüsten am Nil, in Kalifornien und Arizona, wie an anderen Orten wieder Ersatz geschafft.

---

#### Kapitel IV.

### Die Atmosphäre der Himmelskörper und ihre physikalische Beschaffenheit.

Man kann mit einer gewissen Berechtigung auch von Atmosphären der Sonnen oder der Sterne sprechen. Diese Himmelskörper bestehen hauptsächlich aus einer verhältnismäßig dichten Masse, die von einer sehr verdünnten Gas-hülle umgeben ist. Die Dichte der Hauptmasse unserer Sonne ist ungefähr 1,4 mal so groß als diejenige des Wassers. Andere Sterne haben dagegen Massen von sehr geringer Dichte, die einige Hundertstel derjenigen des Wassers nicht übersteigt; so besonders die Sterne von veränderlicher Lichtstärke, die nach ihrem am längsten bekannten Vertreter, dem Sterne Delta im Cepheus, benannt werden, und, im allgemeinen, die jungen Sterne. Wegen ihrer hohen Temperatur sind diese Sterne jedenfalls durchaus gasförmig, bis auf die in ihren äußersten Schichten schwebenden, aus leicht verdichtbaren Dämpfen, z. B. Kohlenstoffdampf, entstandenen Wolken, von denen ihr starkes Leuchten ausgeht.

Die Cepheiden-Sterne gehören zu den verhältnismäßig jungen Himmelskörpern; die Sonne hingegen ist, gleich den anderen gelben Sternen, bedeutend älter und ihre mittlere Dichte ist unzweifelhaft eine Folge ihres Alters. An verschiedenen jungen Sternen, wie an dem glänzenden Altair,

dem Hauptstern im Adler, hat man weit ausgedehnte, gewöhnlich aus Wasserstoff, oft auch aus Helium bestehende Gasschichten beobachtet und diese Gashülle darf als eine Art von Atmosphäre betrachtet werden. Ihre Dichte ist sicherlich äußerst gering. Unser Zentralstern, die Sonne, hat ebenfalls über den leuchtenden Wolken eine Gashülle von geringer Dichte, deren Lichtabsorption die dunklen, nach Fraunhofer benannten, Linien im Sonnenspektrum verursacht. Unter den in ihr vorhandenen Gasen macht der Wasserstoff mit etwas Helium und einem auf der Erde noch unbekannten, „Koronium“ genannten Gase den Hauptteil aus, und man kann daher diese Gase als die Sonnenatmosphäre betrachten.

Gleiche Verhältnisse herrschen ohne Zweifel auch auf den großen Planeten, deren Dichten sich nicht viel von derjenigen der Sonne unterscheiden. Es besteht auch — nebenbei gesagt — eine große Übereinstimmung in den Umdrehungszeiten dieser Planeten, die bei Jupiter 9.9, bei Saturn 10.3 und bei Uranus 10.8 Stunden beträgt. Nach ihren Dichten zu urteilen, sind sie aller Wahrscheinlichkeit nach, gleich der Sonne, durchweg gasförmig, wenn man von den Wolkenbildungen absieht, die, wie es scheint, die äußere Begrenzung dieser Himmelskörper ausmachen. Daß auch in ihnen, wie in der Sonne, äußerst zähflüssige Gasmassen vorhanden sind, scheint daraus hervorzugehen, daß an ihnen eigentümliche Flecke erscheinen, die, gleich den Sonnenflecken, lange, mitunter über ein Jahr lang, bestehen bleiben. Das bestbekannte Beispiel hierfür ist der sogenannte „rote Fleck“ auf dem Jupiter, der nun schon seit 1878 besteht, wenn er auch nicht mehr so kräftig hervortritt wie in seiner ersten Zeit. (Fig. 10.) Diese Planeten zeichnen sich auch durch stark ausgeprägte, mit dem Äquator parallel verlaufende Streifen aus (Fig. 10 u. 11), die infolge der außerordentlich großen Umdrehungsgeschwindigkeit dieser Planeten entstehen. Ein Punkt des Jupiteräquators bewegt sich 28 mal, ein Punkt des Saturnäquators 22 mal, ein

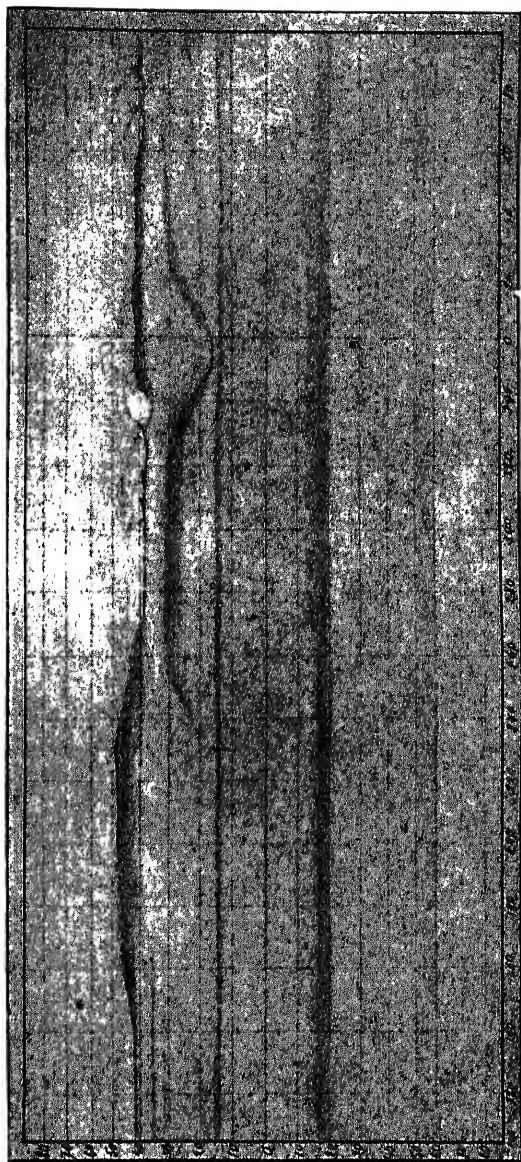


Fig. 10.

Der Planet Jupiter von F. le Coultre in Genf 1909 in Mercators Projektion gezeichnet. Der rote Fleck, vor dem sich die Wolken zerteilen, liegt unter dem 355. Längengrade und 20. Grad südlicher Breite, dort wo das dunkle Band sich ausbuchtet. Süden ist auf der Figur oben, wie bei allen mit den astronomischen Fernrohren auf der nördlichen Erdhalbkugel gesehene Bildern.



Punkt des Uranusäquators etwa 7,5mal so schnell als Punkt des Erdäquators.

Welche Gase können wir nun in diesen Atmosphären erwarten? Nach den Hypothesen von Kant und Laplace ja einen allgemein anerkannten gasförmigen Kern enthaltend.

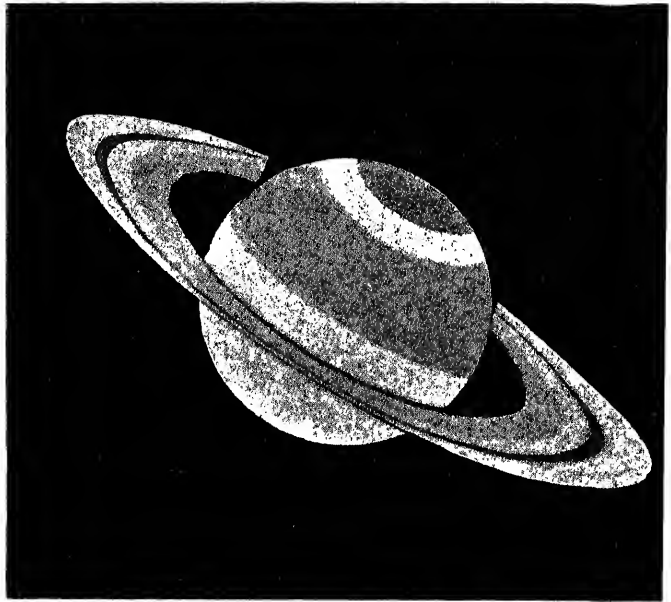


Fig. 11.  
Saturn am 30. September 1909; nach F. le Coultre, Genf.

haben sich alle Planeten aus der Sonne entwickelt, als deren Umfang sich noch bis zu den Bahnen der obengenannten Planeten und noch darüber hinaus erstreckte. Darum ist es wahrscheinlich, daß gerade diejenigen Gase, die am weitesten nach außen in der Sonnenatmosphäre liegen, ursprünglich auch in den Atmosphären dieser Planeten enthalten waren, also besonders das Wasserstoffgas. Slipher, der hier wiedergegebenen Spektra der äußeren Planeten photographiert hat, glaubt auch gefunden zu haben, daß

starke Absorptionsbanden in den Spektren des Neptun und des Uranus den starken F- und C-Linien des Wasserstoffs,

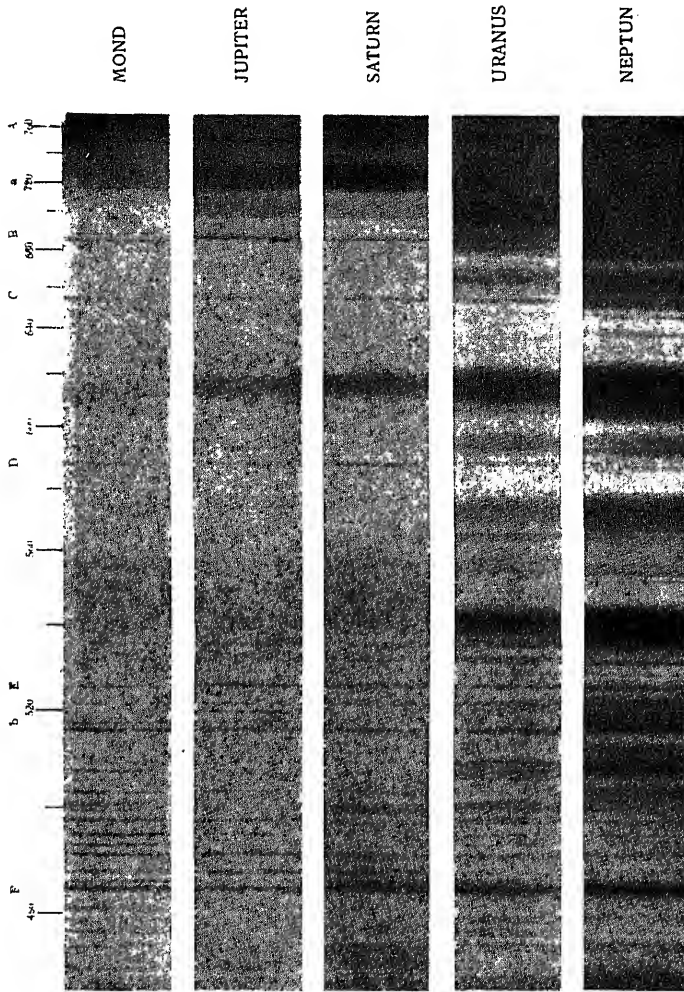


Fig. 12. Die Spektren der großen Planeten mit dem Mondspektrum verglichen. Letzteres entspricht dem Spektrum des von einem Planeten ohne absorbierende Atmosphäre zurückgeworfenen Sonnenlichtes.  
Phot. von V. M. Sipher auf der Lowell-Sternwarte.

nach der Bezeichnung von Fraunhofer, entsprechen. (Fig. 12.) Wegen der großen Breite dieser Banden ist es jedoch schwer, sie zu identifizieren. Noch andere Gase, unbe-

kannter Art, sind in den über den Wolken dieser Planeten liegenden Gashüllen enthalten, die, wie aus den Spektren hervorgeht, stark absorbierend auf das von den Wolken zurückgeworfene Sonnenlicht wirken. Die Absorption nimmt mit der Entfernung der Planeten von der Sonne zu, ist also am stärksten beim Neptun und am schwächsten beim Jupiter.

Auf jeden Fall unterscheiden sich die Atmosphären dieser Himmelskörper bedeutend von denen der inneren Planeten: Mars, Erde, Venus und Merkur. Die Lufthüllen der Sonne und der großen Planeten gehen allmählich und ohne Sprünge in die inneren Gasmassen über, so daß sich keine bestimmte Grenze angeben läßt, wo die Atmosphäre aufhört und die dichteren Schichten beginnen. Ganz anders verhält es sich auf der Erde. Hier ist das Luftmeer unten von der festen Erdrinde oder dem Weltmeere scharf abgegrenzt. In solchem Fall allein kann man von einer wirklichen Atmosphäre sprechen, wie sie unserer gewöhnlichen Vorstellung entspricht, und diesen Fall haben wir bei Himmelskörpern mit fester oder flüssiger Oberfläche.

Es ist aber nicht sicher, daß alle diese Planeten auch mit Atmosphären begabt sind. Die Beobachtungen des Mondes bei seinem Vorübergange an einem Stern zeigen, daß eine vielleicht doch auf ihm vorhandene Lufthülle die Sehlinie nicht abzulenken vermag, das heißt, daß in der Hülle keine merkbare Lichtbrechung stattfindet. Daraus ist zu schließen, daß ihre Dichte ganz unbedeutend ist und höchstens einigen Millimetern Luftdruck entspricht. Man hat jedoch guten Grund anzunehmen, daß der Mond von der Erde abgetrennt worden ist und darum auch gerade die leichteren Bestandteile der Erde mitgenommen haben müßte, wie denn auch seine Dichte, 3,3, zeigt, die nur sechs Zehntel von derjenigen der Erde (5,53) beträgt, und man müßte darum wohl erwarten, daß der Mond bei seiner Scheidung von der Erde auch seinen Anteil an deren leichtestem Bestandteile, der Luft, erhalten habe. Ohne Zweifel ist dies

auch geschehen, aber der Mond hat nachher im Verlaufe der Zeit seine ursprünglich wahrscheinlich bedeutende Lufthülle verloren. Das geschah, weil die kleinsten Gasteilchen, die sogenannten Moleküle, eine starke Eigenbewegung besitzen, die um so stärker wird, je höher die Temperatur steigt und je leichter das Gas ist. Bei dem leichtesten bekannten Gase, dem Wasserstoff, erreicht diese Geschwindigkeit bei  $0^{\circ}$  1,84 Km. in der Sekunde. Die am kräftigsten von der Sonne bestrahlten Teile des Mondes haben eine Temperatur von etwa  $150^{\circ}$  und bei dieser Temperatur ist die mittlere Geschwindigkeit der Wasserstoffmoleküle 2,29 Km. in der Sekunde. Ein Körper aber, der sich von der Oberfläche des Mondes mit einer Geschwindigkeit von 2 Km. oder mehr in der Sekunde fortbewegt, kann von diesem nicht mehr festgehalten werden, er kehrt auf seinem Wege nicht um und entfernt sich immer mehr. Auf gleiche Weise würde eine mit einer Geschwindigkeit von 11,2 Km. abgeschossene Kanonenkugel (eine Geschwindigkeit, die von unserer gegenwärtigen Artillerie nicht im entferntesten erreicht wird) von der Erde wegfliegen, wenn ihr der Luftwiderstand nicht im Wege wäre. Man sieht, daß wir weit davon entfernt sind, Jules Vernes Träume in seiner „Reise nach dem Monde“ zu verwirklichen. — Auf jeden Fall ist die Anziehungskraft des Mondes zu gering, an seinen wärmsten Stellen das Wasserstoffgas zurückzuhalten, hier fliegt dieses weg; von den Seiten strömt anderes nach, und nach kurzer Zeit ist alles Wasserstoffgas vom Monde verschwunden. Wahrscheinlich ist es in der Hauptsache nach der Sonne gewandert, auf der eine Geschwindigkeit der Moleküle von 613 Km. in der Sekunde erforderlich ist, damit sie sich von ihr entfernen können, während die wirkliche Geschwindigkeit des Wasserstoffgases daselbst nur etwa 8 Km. in der Sekunde erreichen dürfte.

Die Moleküle des nächst leichtesten Gases, des Heliums, besitzen bei  $+150^{\circ}$  eine mittlere Geschwindigkeit von 1,62 Km. in der Sekunde. Das ist gewiß weniger als die

2 Km. in der Sekunde, die zum Verlassen des Anziehungsbereiches des Mondes erforderlich sind. Aber die Heliummoleküle haben nicht sämtlich die gleiche Geschwindigkeit, die einen übertreffen die mittlere Geschwindigkeit, die anderen bleiben darunter. Diejenigen, die mehr als 2 Km. in der Sekunde haben, machen einen ganz wesentlichen Bruchteil der Gesamtzahl aus und dieser Bruchteil geht weg. Dann stellt sich sofort ein Gleichgewicht ein und in weniger als einer Sekunde ist wieder ein gleicher Bruchteil fertig, vom Mond wegzurasen. So verlor der Mond sehr bald seine Heliumatmosphäre, wenn auch nicht so schnell wie die Wasserstoffatmosphäre.

Noch langsamer verschwanden die am reichlichsten in der Luft befindlichen Gase, der Stickstoff und der Sauerstoff, aber auch sie blieben nicht lange von der geringen Anziehungskraft des Mondes gefesselt. Und so geschah es auch mit dem Wasserdampfe, der nur halb so schwer ist als das Sauerstoffgas, doch wurde dessen Verlust, wie wir später sehen werden, dadurch verzögert, daß neue Wasserdampfmenngen von den Vulkanen des Mondes ausgeworfen wurden. Man muß sich auch vor Augen halten, daß der Mond ohne Zweifel eine flüssige, geschmolzene Masse, wie die Lava unserer Vulkane war, als er sich von der Erde abtrennte und in diesem Zustand verblieb, bis seine Außentemperatur auf ungefähr  $1200^{\circ}$  gesunken war. Bei dieser Temperatur beträgt die mittlere Geschwindigkeit der Sauerstoffmoleküle etwa 1 Km. in der Sekunde, wobei sicherlich einige Hundertteile derselben eine zum Verlassen des Mondes genügende Geschwindigkeit von 2 Km. in der Sekunde erreichten. Diese Moleküle der mittelschweren Gase gingen wahrscheinlich wieder zur Erde zurück, die, wie wir aus Erfahrung wissen, schwer genug ist, sie an sich zu fesseln.

Kein einziges von den Gasen, die in bedeutender Menge in der Erdatmosphäre enthalten sind und von denen vorausgesetzt werden darf, daß bei der Trennung auch dem Monde

ein Teil von ihnen zugefallen ist, hat von diesem festgehalten werden können. Ein gleiches gilt sicherlich auch in bezug auf andere Himmelskörper von ähnlicher oder geringerer Größe, wie die sämtlichen kleinen Planeten und die Mehrzahl der Planetentrabanten. Nach den Bestimmungen über die Fähigkeit der Trabanten, Sonnenlicht zurückzuwerfen, welche neuerdings von Hrn. H. N. Russell in Princeton veröffentlicht wurden, scheinen die Jupitersatelliten I, II und III, sowie der Saturnmond Titan recht kräftige Lufthüllen zu besitzen. Vermutlich gilt dasselbe vom Neptunmond. Was von dem Monde gesagt ist, gilt auch für den Merkur. Die Geschwindigkeit der Moleküle müßte auf diesem wohl ein und einhalb mal so groß sein als auf dem Monde, wenn sie sich von ihm sollten entfernen können; aber die Temperatur ist auf dem Merkur weit höher, gegen  $400^{\circ}$  an seinem wärmsten, beständig der Sonne zugewendeten Punkte, und die Moleküle erreichen dort eine 1,26 mal höhere Geschwindigkeit als gleich beschaffene Moleküle am heißesten Punkte auf dem Monde. Der Merkur kann also die Gase etwas besser festhalten als der Mond, aber der Unterschied ist unbedeutend. Auch direkte Beobachtungen (s. weiter unten) weisen darauf hin, daß der Merkur sich in dieser Hinsicht nicht viel anders als der Mond verhält. Man könnte sich ja vorstellen, daß manche schwere Gase, die auf dem Monde verflüssigt oder fest werden, auf dem Merkur infolge seiner höheren Temperatur im Gaszustand verbleiben und so eine Atmosphäre bilden könnten. Das wäre jedoch falsch. Nach den Untersuchungen von Schiaparelli und allen seinen Nachfolgern wendet der Merkur fortwährend dieselbe Seite der Sonne zu. Die entgegengesetzte Seite, die niemals von einem Sonnenstrahl erwärmt wird, muß also eine besonders niedrige, fast nahe am absoluten Nullpunkt ( $-273^{\circ}$ ) liegende Temperatur angenommen haben und wohl kälter sein als irgend ein Punkt auf dem Monde. Es müssen also alle Körper, die einen merklichen Dampfdruck haben, auf diese

Seite hinüber destillieren und zu festen Klumpen oder gefrorenen Schichten ohne jeden merkbaren Dampfdruck erstarren. Der Merkur kann also eine merkliche Atmosphäre nicht besitzen. Es verbleiben somit in der ganzen Reihe der Planeten in unserem Sonnensystem nur drei, die eine Atmosphäre im eigentlichen Sinn des Wortes besitzen: außer der Erde nur noch der Mars und die Venus.

Man gelangt zu derselben Auffassung, wenn man das Vermögen der Planeten, das auf sie einfallende Sonnenlicht zurückzuwerfen, untersucht. Die Lufthüllen enthalten kleine schwebende Körperchen, sei es von Wasser oder Eis oder auch von aufgewirbeltem Staub. Diese in der Atmosphäre schwebenden Partikeln haben ein stärkeres Reflexionsvermögen als eine feste oder flüssige Planetenoberfläche. Der Mond vermag 7 v. H., Merkur ebenfalls 7 v. H. des empfangenen Sonnenlichtes zurückzuwerfen. Nach Russels Daten ist der Mond dem Merkur in dieser Hinsicht etwas überlegen.

Es ist darum wahrscheinlich, daß der Merkur, gleich wie der Mond, keine nennenswerte Atmosphäre besitzt. Den Gegensatz hierzu haben wir in der Venus, die nicht weniger als 59 v. H. des auf sie fallenden Sonnenlichtes zurückstrahlt. Nach Abbot strahlen Wolken, d. h. Anhäufungen von Wassertropfen oder Eiskristallen, etwa 65 v. H. zurück. Man vermutet, daß die ganze Venusoberfläche von einem dichten, undurchdringlichen Wolkenschleier für uns verdeckt ist. Der geringe Unterschied zwischen 59 und 65 kann, außer von den Versuchsfehlern, auch davon herühren, daß ein kleiner Teil des Lichtes von der über den Venuswolken liegenden Atmosphäre absorbiert wird. Ganz dicht an die Venus reihen sich in dieser Hinsicht Jupiter und Saturn mit 56 und 63 v. H. an. An den Spektren dieser Planeten kann man wahrnehmen (Fig. 12), daß das von deren Wolken ausgestrahlte Licht durch die darüber befindlichen Gase in hohem Maße geschwächt wird. Am Jupiter glaubte man beobachten zu können, daß seine rote

Farbe mit der Anzahl der Sonnenflecke wechselt, tiefer wird bei Verminderung und weißlicher bei Vermehrung der letzteren. Man hat gefunden, daß die Sonnenflecke die Entstehung hochgehender, cirrusartiger Wolken auf der Erde begünstigen. Wahrscheinlich sind die Verhältnisse auf Jupiter ähnlich. Bei zahlreichen Sonnenflecken liegen die Wolken hoch; die über ihnen befindliche absorbierende Luft, von der die rote Farbe herrührt, ist dann verdünnter und der Jupiter scheint infolgedessen in einem weißeren Licht als zu Zeiten mit wenigen Sonnenflecken.

Auffallend wenig Sonnenlicht wird von den Lufthüllen der beiden äußersten Planeten, Uranus und Neptun, verschluckt, die 73 und 63 v. H. davon zurückgeben.

Wir kommen schließlich zum Mars. Dieser Planet strahlt nur 15,4 v. H. des einfallenden Lichtes zurück und übertrifft in dieser Beziehung zweimal den Mond. Nach allem zu schließen, ist die Atmosphäre auf dem Mars sehr dünn. Lowell schätzt sie, aber aus recht unsicheren Gründen, auf nur 22 v. H. der Luftmasse, die auf einer gleichen Fläche auf der Erde ruht.

Wieviel strahlt nun unsere Erde von dem empfangenen Sonnenlicht wieder in den Weltenraum hinaus? Das direkt zu messen, ist ja nicht möglich, denn wir können keine Instrumente über der Lufthülle aufstellen; aber annähernd berechnen können wir es. Nicht weniger als 52 v. H. der Erde ist von Wolken bedeckt, die eine Weiße von 65 v. H. haben, und folglich  $0,65 \times 0,52 = 0,338$  Teile vom einfallenden Sonnenlicht zurückwerfen. Davon gehen einige Prozente, sagen wir etwa 5, wie bei der Venus durch Absorption in höheren Luftschichten verloren. Es bleiben also etwa 0,32 Teile zurück, die ausstrahlen. Der Staub und die Atmosphäre nehmen auf den übrigen 48 Hundertteilen der Erdoberfläche 60 v. H. des Sonnenlichtes weg, wovon ungefähr die Hälfte in den Raum hinausgeht, während die andere Hälfte als Licht vom Himmelsgewölbe wieder auf die Erde zurückfällt. Das sind weitere 0,14 Teile. Endlich strahlen



das Weltmeer und der größtenteils feuchte Erdboden ungefähr 6 v. H. von den auf sie fallenden 40 Hundertteilen direkten Sonnenlichtes aus, von denen 70 v. H. nicht wiederkehren. Die Wüsten und kahlen Klippen reflektieren zwar doppelt so stark als die anderen Teile, die von ihnen ausgestrahlte Lichtmenge ist jedoch sehr gering. Wir haben also zusammen  $0,48 \times 0,06 \times 0,40 \times 0,7 = 0,008$  und die Gesamtmenge des zurückgeworfenen Sonnenlichtes stellt sich auf  $0,32 + 0,14 + 0,008 = 47$  v. H. Russell gibt vier auf astronomischen Daten beruhenden Berechnungen dieser Zahl, die im Mittel zum Wert 44,5 v. H. führen, der sehr gut mit dem hier gefundenen übereinstimmt. Wäre die Luft wolkenfrei, so würde die Erde 33 v. H. des empfangenen Lichtes zurückwerfen und ihre Weiße (latein. albedo) würde diejenige des Mars noch bedeutend übertreffen. Da aber etwas mehr als die halbe Erdoberfläche von Wolken bedeckt ist (52 v. H.) und in ihrer Weiße derjenigen der Venus (59 v. H.) entspricht, so kommt die Erde mit der Gesamtstrahlung von 47 v. H. dieser viel näher, etwa 2,7 mal so nahe, als dem Mars mit 15 v. H. Vergleicht man den Wert von 33 v. H. für die Strahlung des wolkenfreien Teiles der Erde mit dem von 15,4 v. H. für den fast gänzlich wolkenfreien Mars und dem von 7 v. H. für den nicht nur wolkenfreien, sondern auch wegen der fehlenden Atmosphäre vollkommen staubfreien Mond, so sieht man, daß die Marsatmosphäre, trotz der auf diesem Stern herrschenden geringen, nur 37,5 v. H. der irdischen, betragenden Schwere noch nicht ein Drittel so viel Staub über jedem Quadratmeter enthält als die Erdatmosphäre.

Wenn man die niedrige Temperatur auf Mars berücksichtigt, kann man nach einer von Stokes gegebenen Formel berechnen, daß eine Staubpartikel auf Mars 2,3 mal langsamer sinken würde als auf der Erde. Da trotzdem so wenige Partikelchen in der Marsluft schweben und ein Teil davon ausgefallter Nebel ist, kann man sich nicht der Vorstellung enthalten, daß diese Luft außerordentlich dünn

sein muß, so daß die Windstöße nur in geringem Grade befähigt sind, den Staub von dem Boden aufzuwirbeln. Lowell hat den Luftdruck an der Oberfläche des Mars auf 64 Millimeter geschätzt, Proctor kommt zu etwa dem doppelten Betrag. Beide Schätzungen beruhen auf recht unsicheren Grundlagen. Ich bin geneigt anzunehmen, daß auch Lowell einen zu hohen Wert angibt. Nimmt man denselben als richtig an, so ruht auf jedem Quadratmeter der Marsoberfläche nur etwa ein Fünftel so viel Luft als auf einem Quadratmeter der Meeresoberfläche auf der Erde.

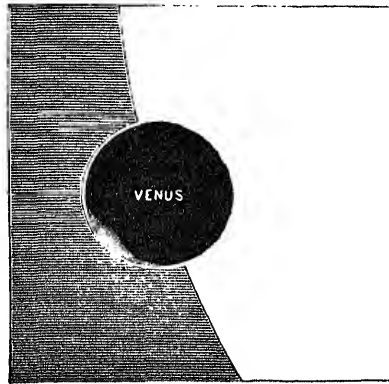


Fig. 13.  
Der Planet Venus mit sonnenbeleuchteter Atmosphäre (links),  
am 6. Dezember 1882 bei der Venuspassage von Langley beobachtet.

Die Venusatmosphäre ist wegen der in ihr schwebenden Wolkenmassen und namentlich auch wegen ihrer starken Lichtbrechung schon seit längerer Zeit als mächtiger erkannt worden als die Erdatmosphäre. In der Nähe der Sonne erscheint die Venus dunkel und von einem Lichtschein umgeben. (Fig. 13.) Zur Hervorbringung dieser Erscheinung braucht aber, wie allgemein angenommen wird, die Venusluft nicht dichter zu sein als die Erdluft. Bedenkt man jedoch, daß die Luft, die wir an der Venus wahrnehmen, über den Wolken liegt, und daß diese Wolken

infolge der hohen Temperatur sehr hoch, wahrscheinlich so hoch, wie die höchsten Cirri in unserer Atmosphäre, schweben, so erkennt man, daß es bloß etwa der vierte Teil der Venusatmosphäre sein kann, durch den dieser Lichteffect hervorgebracht wird, und man darum berechtigt ist anzunehmen, daß die Lufthülle der Venus viel mächtiger ist als diejenige der Erde. So steht die Erde, gleichsam der Reihenfolge der Planeten entsprechend, in dieser Beziehung zwischen dem Mars mit seiner sehr dünnen und der Venus mit ihrer verhältnismäßig dichten Atmosphäre, und man würde erwarten, auf dem Merkur eine noch dichtere Atmosphäre zu finden als auf der Venus. Dieser ist aber, wie wir bereits gesehen haben, fast ohne jede Gashülle, weil er seine Rotation verloren hat und darum unveränderlich, gleich dem Monde, und wahrscheinlich auch gleich den meisten anderen Trabanten, ein und dieselbe Seite dem Zentralkörper zuwendet. Darum ist seine, von der Sonne abgewendete Seite so kalt, daß alle Gase dort verflüssigt werden oder erstarren, mit Ausnahme des Wasserstoffs und des Heliums, die aber nach der anderen, warmen Seite strömen und sich von dort in den Raum verflüchtigen. Wendete die Venus, wie Schiaparelli, Lowell und andere Astronomen behaupten, ebenfalls nur eine Seite ständig der Sonne zu, so würde auch sie keine merkbare Lufthülle mehr besitzen. Von Bjelopolski wird, allerdings im vollständigen Widerspruch zu Slipher, nach seinen spektroskopischen Messungen angegeben, daß die Venus eine Umdrehungszeit von 29 Stunden habe. Eine Feststellung des Wertes der Umdrehungszeit der Venus ist dringend erwünscht.

Will man die Natur der Planetenatmosphären kennen lernen, so ist es nötig, sich zuvor mit unserer Erdatmosphäre genauer vertraut zu machen. Unser Wissen hierüber hat sich in jüngster Zeit bedeutend vermehrt.

Die in der Luft enthaltenen Gase sind uns jetzt genau bekannt.

An den früher wohlbekannten Gasen enthält sie in 100 Raumteilen

an Sauerstoff . . .	78,10 Teile
„ Stickstoff . . .	20,90 „
„ Kohlensäure . . .	0,03 „

und an den von Rayleigh und Ramsay entdeckten Edelgasen

an Argon . . . .	0,937 Teile
„ Neon . . . .	0,0015 „
„ Helium . . . .	0,0005 „
„ Krypton ungef. .	0,0001 „
und „ Xenon „ .	0,000005 „

außerdem noch Wasserdampf, dessen Menge nach Zeit und Ort verschieden ist und darum hier nicht mit einer bestimmten Zahl angeführt werden kann. Der Gehalt an allen diesen Gasen vermindert sich mit der Höhe über dem Erdboden nach der sogenannten Barometerformel, und zwar um so rascher, je schwerer sie sind. Darum finden sich Krypton und Xenon, die, beziehentlich, ungefähr  $2\frac{1}{2}$  und 4 mal so schwer sind als der Sauerstoff, hauptsächlich in den unteren Luftschichten, während der Gehalt an Helium, das achtmal leichter ist als Sauerstoff, mit der Höhe schnell zunimmt. Bestände die Luft bei  $0^\circ$  aus einer Mischung von Sauerstoff und Helium, so würde der Sauerstoff in etwa 5 Km. Höhe bis zur Hälfte abgenommen haben, der Heliumgehalt aber erst in 40 Km. Höhe (8 mal so hoch als für den Sauerstoff, da sich die Schweren der beiden Gase wie 1 zu 8 verhalten), vorausgesetzt, daß die Luft nicht durch Strömungen durchgerührt wird. Auf letzterer Höhe würde die Menge des Sauerstoffs im Verhältnis von  $2^8 = 256$  abgenommen haben. Wird nun, wie es tatsächlich der Fall ist, an der Erdoberfläche 40 000 mal soviel Sauerstoff als Helium in der Luft gefunden, so wird sich dieses Verhältnis

in 40 Km. Höhe wie 256 : 1 vermindert zeigen. In einer Höhe von 70 Km. wird der Heliumgehalt der Luft den Sauerstoffgehalt übertreffen und mit weiterer Steigerung der Höhe wird dieses Verhältnis sich ebenfalls rasch steigern.

Dasselbe gilt für alle leichten Gase, soweit sie bei niedriger Temperatur nicht verflüssigt oder fest werden. Der Wasserdampf, der bei der Abkühlung sich in Wolken ausscheidet, nimmt mit der Höhe weit schneller ab als der fast zweimal so schwere Sauerstoff. Denn die Temperatur der Luft sinkt nach oben zu sehr schnell; sie nimmt bis zur Höhe von 2,5 Km.  $5^{\circ}$  für jeden Km. ab und in einer Höhe von 8,5 Km.  $8^{\circ}$  für jeden Km. Schon in 1,9 Km. Höhe ist die Menge des Wasserdampfes auf die Hälfte gesunken. Auf die Kohlensäure läßt sich die Barometerformel wie bei den anderen Gasen anwenden, denn sie kann sich bei ihrer so geringen Menge nie in Wolkenform ausscheiden. Es ist tatsächlich nur der Wasserdampf, der eine andere Rechnung verlangt. Die Kohlensäure ist nun fast genau  $1\frac{1}{2}$  mal so schwer als die Luftgase im Durchschnitt, und müßte infolgedessen in einer Höhe von 5 Km. im Verhältnis von  $1 : 2^{1,6} = 1 : 2,8$  an Dichte abnehmen, während die Dichte der Luft nur im Verhältnis von  $1 : 2$  sich vermindert. Der Kohlensäuregehalt der Luft ist mehrfach, u. a. von dem bekannten Polarfahrer S. A. Andrée, in verschiedenen Höhen, bis zu 3,8 Km., bestimmt worden, und er hat sich, innerhalb der Versuchsfehler, als konstant erwiesen. Ein gleiches gilt auch für das Verhältnis von Sauerstoff zu Stickstoff, das sich mit der Höhe bis zu 7 Km. in merkbarem Grade ändern müßte, da der Sauerstoff um 14 v. H. schwerer ist als der Stickstoff. Wie ist dieser Widerspruch mit dem oben gesagten zu erklären?

Die Erklärung ist ganz einfach. Was oben ausgeführt wurde, gilt für eine vollkommen unbewegte Luftmasse. Wird die Luft kräftig durchgerührt, so gleicht sich ihre Zusammensetzung in verschiedenen Höhen aus. Wir wissen

ja, daß bei barometrischen Zyklonen und Antizyklonen stark aufwärts oder niederwärts gerichtete Luftströmungen stattfinden. So weit diese Durchmischung sich in die Höhe erstreckt, so weit bleibt die Luft gleichförmig zusammengesetzt. Diese Strömungen bewirken auch eine Abnahme der Temperatur mit der Höhe. Steigt eine Gasmasse aufwärts, so gelangt sie unter verminderten äußeren Druck, dehnt sich infolgedessen aus und kühlt sich ab. Wir wissen ja, daß ein Gas sich bei raschem Zusammendrücken erwärmt. Hat man doch früher in den pneumatischen Feuerzeugen den Feuerschwamm dadurch entzündet, daß man die Luft in ihnen rasch zusammenpreßte. Dehnt sich dagegen ein Gas aus, so kühlt es sich dabei ab. Würde trockne Luft innig durchgemischt werden, so würde die Temperatur für jeden Km. Erhebung über die Erde um fast genau  $10^{\circ}$  sinken. Stände sie hingegen in vertikalem Sinne still, so würde sich die Wärme vollständig ausgleichen und keine Abnahme mit der Höhe eintreten. Zwischen diesen beiden Grenzfällen liegt nun die Wirklichkeit; die Temperatur der Luft sinkt um ungefähr  $5^{\circ}$  bis  $8^{\circ}$  für jeden Km. aufwärts, bis zu etwa 10 Km. Höhe, wie man es bei Ballonfahrten feststellen kann.

Mit dem eben gesagten steht eine der merkwürdigsten Entdeckungen aus neuerer Zeit in Übereinstimmung: die von Teisserenc de Bort und Assmann festgestellte Tatsache, daß die Temperatur nicht, wie man früher glaubte, ohne Grenze, wer weiß wie weit, sondern nur bis zu einer gewissen Höhe über der Erde allmählich abnimmt, darüber hinaus aber fast unverändert bleibt. Im mittleren Europa beträgt diese Höhe etwa 11 Km., in Lappland etwa 7 und am Äquator etwa 15 Km. Es sind also zunächst zwei Abschnitte in unserer Atmosphäre zu unterscheiden: ein unterer, in dem die Luft beständig durchgemischt wird und der darum die Troposphäre genannt wird, und ein oberer, der als gleichmäßige ruhige Schicht darüber liegt und als Stratosphäre bezeichnet wird. Da letztere am Äquator höher

über der Erde liegt als in den Polargebieten, so zeigt sich die auffallende Erscheinung, daß ihre Temperatur dort in der heißen Zone niedriger ist als hier in der gemäßigten und noch niedriger als in Lappland in der kalten Zone. Die Stratosphäre erstreckt sich ziemlich parallel zur Erdoberfläche und bewegt sich nur in horizontaler Richtung, während merkliche vertikale Strömungen in ihr nicht vorkommen. Die Winde haben dort eine ausgesprochen westliche Richtung, sind also Ostwinde und werden stärker, je höher die Schicht liegt. In 83 Km. Höhe ist die Windgeschwindigkeit ungefähr 100 m in der Sekunde. In der Troposphäre herrschen dagegen die Westwinde vor. Die Windrichtung in der Stratosphäre konnte an den sogenannten leuchtenden Nachtwolken beobachtet werden, deren Höhe zu ungefähr 80 Km. bestimmt wurde. Die Stratosphäre rotiert demnach langsamer als die feste Erde um die Erdachse. In 80 Km. Höhe beträgt ihre Umdrehungsgeschwindigkeit nur noch 65 v. H. von derjenigen der Erde. Man glaubt annehmen zu dürfen, daß die äußersten Luftschichten an der Achsendrehung der Erde nicht teilnehmen, weil der Raum wohl nicht gänzlich leer ist und die Erdluft daher unmerklich in das außerordentlich verdünnte Gas des interplanetarischen Raumes übergeht.

So weit die Troposphäre sich nach oben erstreckt, so weit hinauf ist auch die Zusammensetzung der Luft unverändert und so wie an der Erdoberfläche. Aber weiter hinauf, wir können in bezug auf Mitteleuropa sagen: von ungefähr 10 Km. an, beginnt eine schnelle Abnahme im Gehalt an den schweren Gasen und eine dementsprechende Zunahme an den leichten Gasen. Unter den letzteren steht der Wasserstoff voran, der nur halb so schwer ist als das Helium. Der Wasserstoff ist von Boussingault in der Luft nachgewiesen worden und Armand Gautier hat später dessen Menge zu ungefähr  $\frac{1}{300}$  v. H. bestimmt. Natürlicherweise steigt der Gehalt daran sehr schnell mit der Höhe, so daß er über 80 Km. den aller anderen Gase in der Luft übertrifft.

Wir geben hier unten eine etwas umgearbeitete Tabelle von Dr. Wegener in Marburg, der die letzte Berechnung über die prozentische Zusammensetzung der Luft in verschiedenen Höhen ausgeführt hat, wieder. Die Zusammensetzung der Luft ist innerhalb der Troposphäre, deren Höhe gleich 10 Km. gesetzt ist, als unveränderlich, mit Ausnahme des Feuchtigkeitsgehaltes, angenommen. Die Prozente sind, wie üblich, Volumprozente.

Höhe km	Druck mm	Wasser- stoff 2	Helium 4	Stick- stoff 28	Sauer- stoff 32	Argon 39,9	Kohlen- säure 44	Wasser 18
0	760	0,0033	0,0005	78,1	20,9	0,937	0,03	1,41
10	197	0,0033	0,0005	78,1	20,9	0,937	0,03	0,14
30	8,95	—	—	85	15	0,29	0,0064	0,5
50	0,45	1	—	88	10	0,10	0,0014	1,7
70	0,045	13	1	80	6	0,05	0,0005	—
90	0,0157	68	5	26	1	—	—	—
110	0,0116	94	5	1	0	—	—	—
130	0,0097	96	4	0	—	—	—	—
210	0,0055	99	1	—	—	—	—	—
310	0,0032	100	—	—	—	—	—	—

Unter den Namen der Gase stehen deren Molekulargewichte, die den Maßstab für die spez. Gewichte geben. Die Menge des Wasserdampfes ist, wie gebräuchlich, in die prozentische Berechnung nicht mit einbezogen, weil sie je nach Ort und Zeit verschieden ist. Die in der Tabelle angeführte Zahl ist der mittlere Wert für die ganze Erde und entspricht bei 0 Km. Höhe 11,4 g pr. m<sup>3</sup>, oder dem Feuchtigkeitsgehalt der bei 16,5° mit Wasserdampf gesättigten Luft. Wie aus der Tabelle ersichtlich, geht die Feuchtigkeit der Luft wegen der Temperaturabnahme bei 10 Km. bis auf den zehnten Teil zurück. In der Stratosphäre nimmt die Feuchtigkeit bei der dort herrschenden konstanten Temperatur wegen ihrer Leichtigkeit wieder zu. Die Hauptmenge des Wasserdampfes liegt in einer stark konzentrierten Schicht an der



Erde. Auch die Kohlensäure, die  $1\frac{1}{2}$  mal dichter ist als die Luft, nimmt schnell mit der Höhe ab. Aus der Tabelle sieht man, daß das Volumengewicht der Kohlensäure 44 ist, während das der Luft im Mittel nur 29 beträgt. Noch schneller gehen Krypton (Molek.-Gew. 83) und Xenon (Molek.-Gew. 131) zurück. Diese beiden Gase, sowie das Neon, dessen Menge anfänglich mit der Höhe etwas zunimmt, und das Argon, das nach oben zu sich vermindert, wie die Tabelle zeigt, spielen jedoch, soviel man weiß, keine nennenswerte Rolle im Haushalt der Natur. Ganz anders ist dies der Fall betreffs des Wasserdampfes und der Kohlensäure, die zum Aufbau der Pflanzendecke dienen und außerdem die Erde vor allzugroßer Wärmeausstrahlung schützen. Wie stark die Temperaturschwankungen während Tag und Nacht in dem trockenen Wüstenklima sind (vergl. S. 54) und wie unbedeutend dagegen im feuchten Klima, ist ja bekannt. Der Wasserdampf behindert die Wärmeausstrahlung der Erde. Die Menge der Kohlensäure ist fast auf der ganzen Erde gleich, nur ist ihre schützende Schicht über hochgelegenen Orten schwächer als über tiefliegenden. Wegen ihrer gleichmäßigen Verbreitung ist ihre ausgleichende und wärmeerhaltende Wirkung nicht so in die Augen fallend wie die des Wasserdampfes. Es hat genauer Untersuchungen bedurft, dieselbe nachzuweisen.

In Wegeners Tabelle ist auch ein hypothetisches Gas: Geokoronium angeführt, das bis jetzt in der Luft noch nicht nachgewiesen worden ist. Es ist auffallend, daß die in großer Höhe beobachteten Nordlichtbögen ein grünes Licht zeigen, das, soweit man weiß, keinem der bekannten Luftbestandteile zukommt. Die Spektrallinie dieses grünen Lichtes liegt bei  $557\text{ }\mu\mu$  sehr nahe bei einer dem Krypton angehörenden Linie; aber das Krypton ist ein schweres Gas und kann darum nicht in merklicher Menge in den mehr als 300 Km. über der Erde liegenden Luftschichten vorkommen, in denen die Nordlichtbögen, deren mittlere Höhe nach Störmers Messungen ungefähr 120 Km. ist, mitunter er-

scheinen. Wegener nimmt darum an, daß es sich um ein noch unbekanntes Gas handelt, das fünfmal leichter ist als Wasserstoff. Neuere Forschungen sprechen jedoch sehr gegen eine solche Annahme, und wir werden uns darum nicht weiter damit befassen. Über 210 Km. müßte nach Wegener dieses Gas das Überwiegende sein. Wahrscheinlich ist das Wasserstoffgas in diesen Höhen von ungefähr 85 Km. an das vorherrschende Gas. Über 200 Km. Höhe kommen kaum andere Gase in der Luft vor. Wegen der Leichtigkeit des Wasserstoffs nimmt der in jenen Höhen unter 0,02 mm liegende Luftdruck nach unten hin nur langsam zu. Man kann diesen obersten Teil der Atmosphäre am passendsten mit Wegener als die Wasserstoffregion bezeichnen. In ihrem Bereich erfahren die Sternschnuppen schon einen so großen Luftwiderstand, daß sie in 120 Km. Höhe aufleuchten und zerstieben und in ungefähr 85 Km. Höhe erlöschen. — E. C. Pickering hat das Wasserstoffspektrum im Lichte sehr hoher Meteore beobachtet — vielleicht rührt es von zersetztem Wasserdampf her —, niedriger gehende Meteore gaben das Stickstoffspektrum. In dieser letzteren Höhe beginnt der Stickstoff sich stark geltend zu machen, und von ungefähr 80 Km. an bis zur Erdoberfläche ist er vorherrschend und der Luftdruck nimmt infolgedessen mit der Annäherung an den Erdboden stark zu. Auch die höchsten, von Jesse beobachteten Nachtwolken schwebten in derselben Höhe (gegen 80 Km.) und zeigten dadurch den Beginn einer neuen Schicht, der Stickstoffregion, an. Nur die schweren Meteoriten können in diese Region eindringen, wo sie aufgehalten werden und explodieren, um dann mit der Geschwindigkeit, die der Luftwiderstand zuläßt, niederzufallen. Auch die niedrigsten Nordlichtstrahlen in den sogenannten Draperien dringen hier ein. Störmer beobachtete solche in 37 Km. Höhe. Schließlich fängt der Wasserdampf an, sich durch Wolkenbildung kund zu geben, nämlich sobald die Troposphäre erreicht wird; zunächst zu oberst in etwa 10 Km. Höhe als höchste Wolken, Cirri (nicht

zu verwechseln mit den „leuchtenden Nachtwolken“, die man nur nach dem Ausbruch des Krakaloe 1883—1892 wahrgenommen hat). Bis hier hinauf erstrecken sich auch die vertikalen Luftströmungen, die die Wolkenbildungen verursachen. Es sind jedoch nur die leichten Wolken, die in solcher Höhe schweben; die schwereren erheben sich bloß bis etwa 4—5 Km. (alto-cumuli) und die richtigen Regenwolken ziehen nur 1,4—2,1 Km. hoch. Dies ist eine Folge der Zunahme des Wasserdampfes nach unten in der Troposphäre.

Eine Verminderung der Schwerkraft würde denselben Erfolg haben, wie wenn die Gase leichter geworden wären. Auf der Venus ist die Schwerkraft  $\frac{8}{10}$  von derjenigen der Erde. Der Unterschied ist nicht groß. Wäre sonst alles andere gleich, so würden die verschiedenen Luftregionen sich auf der Venus um  $\frac{1}{4}$  weiter erstrecken als auf der Erde, infolge der höheren Temperatur wird aber der Wassergehalt der Venusluft sehr hoch und die dichten Wolken erheben sich weit höher als auf der Erde. Führt die Venusluft ungefähr zehnmal so viel Wasserdampf als die Erdluft, was wohl ziemlich der Wirklichkeit entspricht, so müssen die schweren Regenwolken dort höher als 10 Km. liegen, da auch die 20 Prozent geringere Schwerkraft einiges zu ihrer Hebung beiträgt. Die leichten Cirruswolken müssen eine Höhe von gegen 30 Km. haben. Die Oberfläche dieses Planeten ist also durch den Wolkenschleier nicht nur unseren Blicken verborgen, sondern auch der direkten Sonnenbestrahlung entzogen.

Auf dem Mars ist die Schwerkraft 2,68 mal kleiner als auf der Erde, und der Druck sowohl als auch die Temperatur der Luft und ihr Feuchtigkeitsgehalt nehmen dort in demselben Verhältnis langsam mit der Höhe ab. Infolge der niedrigeren Temperatur ist die Feuchtigkeit an und für sich sehr gering und die Marsluft gleicht etwa der Erdluft in und über der Cirrusregion. Die Wolken bilden ganz dünne Schleier, die, wie die Cirruswolken, keinen Schatten

werfen, und zeigen sich nur auf geringen Strecken über der Marsoberfläche. Dagegen sind leichte Nebel da gewöhnlich.

Wir werden auf diese Eigentümlichkeiten noch zurückkommen. Mit Hilfe des Spektroskops kann man feststellen, daß in der Sonne die Gase nach ihren spezifischen Gewichten der Hauptsache nach geordnet sind. Ähnliches gilt auch für die Sterne (vergl. oben S. 72).

---

## Kapitel V.

# Die Chemie der Atmosphäre.

Bei einer Erwähnung der Planetenatmosphären denkt man unwillkürlich auch daran, daß diese Weltkörper von lebenden Wesen, wenn nicht gar von vernünftigen Geschöpfen bewohnt sein könnten. Schon sehr lange hat sich die Phantasie der Menschen mit dieser Frage beschäftigt, und hat man früher die Sonne und die Sterne mit menschenähnlichen Wesen bevölkert, so wandte man sich später den Planeten zu, als man erkannte, daß jene Gestirne doch wohl zu heiß sein dürften, um dem Leben eine Stätte bereiten zu können. Könnten denn nicht auch andere Sonnen von Planeten umkreist sein und in ihrem Licht und ihrer Wärme überall im Weltenraume Leben gedeihen lassen? Gegen derartige, wenn auch noch so schöne Vorstellungen stand der Glaube, für den die Erde der Mittelpunkt der Welt war, dem zu leuchten und die Zeit zu messen Sonne, Mond und Sterne geschaffen waren. Zuweilen durften sich selbst innerhalb der Kirche stehende vorurteilsfreie Männer, von denen nur der berühmte Kardinal Nicolaus Cusanus (1401--1464) genannt sein mag, zu der Ansicht von der Bewohnbarkeit anderer Weltkörper ungestraft bekennen; es kamen jedoch Zeiten, in denen die steinharte Orthodoxie die Oberhand gewann und ein Giordano Bruno den Scheiterhaufen besteigen mußte, weil er, sich auf Cusanus berufend, ähnliche Gedanken äußerte.

Die anderen Planeten sind ohne Zweifel aus denselben Stoffen aufgebaut wie die Erde. So lehrte bereits der große Lionardo da Vinci. Die Spektralanalyse lehrt uns, daß die anderen Sonnen aus denselben Grundstoffen bestehen wie unsere eigene Sonne. All unser Wissen führt zu der Überzeugung, daß es von der ursprünglichen, weit ausgedehnten Sonnenmasse abgeschiedene Massen sind, die als Planeten um sie kreisen. Es müssen daher alle Planeten nicht nur aus den gleichen, ihnen von der Sonne überkommenen Elementen bestehen, sondern, dafern sie sich auf einem gleichen Stadium der Entwicklung, d. h. auf gleicher Stufe der Erkaltung befinden, müssen sich diese Elemente auch zu den gleichen chemischen Verbindungen vereinigt haben. Auch die Probestücke aus dem Weltenraum, die zu uns gelangen, die Meteoriten, gleichen in ihrer Zusammensetzung auffallend gewissen Gesteinen des Erdinnern. Es fehlt an ihnen jede Andeutung einer Einwirkung des Wassers, die sich auf der Erdoberfläche und den zunächst darunter liegenden Schichten so sehr bemerkbar macht; aber wir wissen ja, wie oben bereits dargelegt, daß das Wasser von allen kleineren Weltkörpern bald entwindet, und die Meteoriten gehören zu den kleinen und kleinsten der durch den Weltenraum wandernden Massen.

Wir haben also keinen Grund, zu zweifeln, daß das Baumaterial der Planeten in der ganzen Welt das nämliche ist. Das Innerste der Planeten wird wohl überall, wie bei unserer Erde, hauptsächlich aus Eisen bestehen — auch in der Sonne und den Meteoriten herrscht das Eisen vor — und dieser metallische Kern wird von einer Schale aus Silikaten, Oxyden, Karbonaten, Sulfiden und Hydraten von allerlei Metallen, besonders von Aluminium, umgeben sein. Wir rechnen hier auch den Wasserstoff zu den Metallen. Der Schmelzpunkt der diese leichtere Schale zusammensetzenden Stoffe liegt über  $1000^{\circ}$ . Bevor diese Massen fest geworden und sich genügend abgekühlt haben, kann kein Leben auf ihnen entstehen.

Das Leben, wenigstens das Leben auf der Erde, ist an einige sogenannte organische Stoffe gebunden, in denen der Kohlenstoff das wesentliche, zusammenhaltende Element ist. Außer diesem enthalten dieselben noch Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff, dann noch in geringeren Mengen: Schwefel, Phosphor, Eisen, Magnesium und mehrere weitere Elemente, doch ist keines derselben in solchem Maße Grundstoff des Lebendigen wie der Kohlenstoff. Das Silicium steht dem Kohlenstoff chemisch sehr nahe und kann gewisse analoge Verbindungen mit den anderen Elementen bilden, aber Protoplasma, der Hauptbestandteil der lebenden Zelle, kann ohne Kohlenstoff nicht entstehen. Durch sein an den Kohlenstoff erinnerndes Verbindungsvermögen spielt das Silicium in der anorganischen Natur, in der fast unendlichen Mannigfaltigkeit der Silikate, aber nicht in der organischen, eine Rolle, die in gewisser Hinsicht derjenigen des Kohlenstoffs vergleichbar ist. Das Protoplasma kann bei einer  $60^{\circ}$  übersteigenden Temperatur nicht bestehen. Zuweilen wird behauptet, daß gewisse Algen in heißen Quellen noch bei  $80^{\circ}$  bis  $90^{\circ}$  gedeihen; über  $100^{\circ}$  ist dergleichen sicherlich nicht möglich. Eine Bedingung für das Bestehen des Lebens ist flüssiges Wasser. Zwischen  $0^{\circ}$  und  $100^{\circ}$  — eigentlich bei allen Temperaturen zwischen  $0^{\circ}$  und  $365^{\circ}$  — kann das Wasser flüssig bleiben, aber das Leben ist an den kleinen Temperaturbereich zwischen dem Gefrierpunkt und dem Siedepunkt gebunden. Wo immer Wasser freien Raum um sich oder über sich hat und nicht von festen oder flüssigen Körpern eingeschlossen ist, da ist auch Wasserdampf von mindestens 4,6 mm Druck in diesem freien Raume. Auf einem Planeten, dessen Oberfläche zum Teil mit Wasser bedeckt ist, besteht daher eine Atmosphäre von Wasserdampf.

Die Paläontologen stimmen darin überein, daß alles Leben im Wasser begonnen hat. Die vielzählige Menge der jetzigen lebendigen Erdbewohner stammt von Vorfahren ab, die im Ozean, der Wiege alles Lebendigen, schwammen. Es ist nicht durchaus sicher, ob der Sauerstoff allen leben-

den Wesen notwendig ist; viele Biologen neigen jedoch zu dieser Meinung. Manche Bakterien können den zu ihrer Entwicklung nötigen Sauerstoff aus dessen Verbindungen entnehmen, auch aus solchen, in denen er sehr fest gebunden ist, wie in den Sulfaten. Diese Bakterien werden als entartete Pflanzen angesehen. Freier Sauerstoff ist aber für die Existenz der Tiere unumgänglich nötig, wahrscheinlich auch für die der Pflanzen mit der eben genannten Ausnahme. Wie wir weiter unten sehen werden, kann freier Sauerstoff auf einem Planeten nicht vorhanden sein, bevor sich eine feste Rinde auf ihm gebildet hat. Man kann also aussprechen, daß die Bedingungen für das Vorkommen lebender Wesen auf einem Planeten erst erfüllt sind, wenn eine wahre, Sauerstoff und Wasser enthaltende Atmosphäre ihn umgibt.

Wollen wir daher die Bedingungen für die Existenz lebender Wesen auf einem Planeten kennen lernen, so müssen wir zunächst untersuchen, auf welche Weise der Sauerstoff in die Atmosphäre gelangt ist. Da die Planeten von der Sonne abgetrennte Massen sind, so muß ihre Zusammensetzung zu Anfang derjenigen der Sonne und namentlich derjenigen der äußeren Sonnenschichten entsprochen haben. Diese enthalten hauptsächlich Metalle, aber auch einige Oxyde, besonders Titan- und Magnesiumoxyd nach Fowlers Untersuchungen, ferner Wasserstoff in großen Mengen, Sauerstoff, Kohlenstoff, Cyan und Kohlenoxyd. Es erscheint seltsam, daß freier Sauerstoff neben einem großen Überschuß von Wasserstoff und Natrium vorkommen sollte, welche letzteren beide zu den sogenannten reduzierenden Stoffen gehören, die den Sauerstoff binden. Bei den hohen Temperaturen, die auf der Sonne herrschen, sind jedoch die chemischen Verbindungen der reduzierenden Elemente — also auch des Wasserstoffs mit Sauerstoff, das Wasser, auf das es uns jetzt ankommt — zum großen Teil in ihre Bestandteile zerlegt. Sinkt die Temperatur aber bis zu  $1200^{\circ}$  herab — wobei noch keine Kruste sich bildet — so tritt



wieder Verbindung ein und der Sauerstoff wird verbraucht. Die meisten Bestandteile der Erde sind ebenso reduzierend wie diejenigen der Sonne, und es dürfte daher zur Zeit, als die Erdrinde entstand, kein freier Sauerstoff in der umgebenden Gashülle vorhanden gewesen sein. Wir können uns ein Bild von der Zusammensetzung dieser Atmosphäre machen, wenn wir einerseits die Gase der Sonne und anderer Himmelskörper, besonders der Kometen, betrachten und anderseits diejenigen, die von der schmelzflüssigen Masse im Innern der Erde absorbiert worden sind. Bevor die Erde ihre Rinde erhalten hatte, war ihre ganze Masse, mit Ausnahme der äußersten gasförmigen Schicht, genau so beschaffen wie ihre jetzigen feuerflüssigen inneren Teile. Die Schmelze stand in direkter Berührung mit den Gasen und absorbierte einen Teil derselben. Treten die geschmolzenen Massen bei vulkanischen Ausbrüchen zutage, so entlassen sie einen Teil der absorbierten Gase in die Luft, während der übrige Anteil in der erstarrten Lava verbleibt und für die Zwecke der Untersuchung unter Anwendung starker Hitze aus dem Gestein ausgetrieben und gesammelt werden kann. Von dem Franzosen Albert Brun, dem Amerikaner Arthur Day und seinen Mitarbeitern Perret und Shepherd sind Untersuchungen hierüber in ausgedehntem Maße ausgeführt worden. Dabei ist Brun zu der eigentümlichen Folgerung gelangt, daß der sonst für den wichtigsten Teil der vulkanischen Gase angesehene Wasserdampf gar nicht dazu gehöre, sondern von der Erdoberfläche herstamme. Er ist jedoch von Day endgültig widerlegt worden. Es seien hier als Beispiel die Analysen der Gase aus dem Krater Halemaumau des Vulkans Kilauea auf Hawaii nach den mittleren Ergebnissen mehrerer Bestimmungen angeführt:

Mai 1912:

Kohlensäure . . . .	55,4	Volumprocente
Kohlenoxyd . . . .	4,3	..
Wasserstoff . . . .	7,7	..

Stickstoff . . . . .	29,6	Volumprocente
Schweflige Säure . . . . .	2,9	..

Dezember 1912:

Kohlensäure . . . . .	42,9	Gewichtsprocente
Stickstoff . . . . .	25,8	..
Wasser . . . . .	27,5	..
Schweflige Säure . . . . .	3,7	..

Die letztere Analyse deutet auf eine Beimengung von Luft, die aber, nach der gefundenen Stickstoffmenge zu urteilen, kaum genügte, um 8 Gewichtsprozent Wasser zu bilden. In die Zahlen der ersteren Analyse ist das Wasser nicht mit einbezogen. Ein großer Wassergehalt der vulkanischen Gase ist übrigens vielfach beobachtet worden. Dieses Wasser absorbiert bei seiner Kondensation beträchtliche Mengen von Gasen. Fluor- und Chlorverbindungen, Ammoniak und schweflige Säure lösen sich besonders reichlich darin auf. Ein derartiges gashaltiges Wasser enthielt nach der Analyse etwa 10% mehr an Fluor als an schwefliger Säure und nur zwei Fünftel soviel Chlor als Fluor. Die Menge des Ammoniaks betrug nur  $\frac{1}{4}\%$  von derjenigen des Chlors. In der Gasprobe war kein einziges von den seltenen Luftgasen nachzuweisen, was beweist, daß der darin enthaltene Stickstoff aus dem Magna allein herstammte und nicht aus der Luft aufgenommen war.

Brun hat hauptsächlich Laven verschiedener Vulkane untersucht. Die hierbei gewonnenen Gase geben kein so deutliches Bild von der ursprünglichen Beschaffenheit der Erdatmosphäre wie die direkt aus den Vulkanen ausströmenden. Als Beispiele seien angeführt die Zusammensetzung der Gase aus einer am 4. März 1901 vom Stromboli und derjenigen aus einer während des bekannten Vesuvausbruchs im Jahre 1906 ausgestoßenen Lava. Sie enthielten in Volumprozenten:

	Strombolilava	Vesuvlava
Freies Chlor	12,8	0
Chlorwasserstoff	2,0	6,6
schweflige Säure	4,5	12,0
Kohlensäure	60,2	73,8
Kohlenoxyd	11,5	Spur
Wasserstoff	0,5	7,6
Stickstoff	6,9	Spur
Sumpfgas	1,6	0
	100,0	100,0

Wie man sieht, ist die Zusammensetzung sehr verschieden. Das freie Chlor kann nicht von vornherein vorhanden gewesen sein, da es von reduzierenden Substanzen, ebenso wie Sauerstoff, gebunden wird. — Es könnte aus Chlorcalcium durch die Einwirkung von in dem Magma vorhandener Kieselsäure oder von Eisensilikat in der Hitze in Freiheit gesetzt worden sein. — In allen Fällen bildet die Kohlensäure den Hauptbestandteil; nach ihr kommen schweflige Säure und Chlorwasserstoff. Kohlenoxyd, Wasserstoff und Stickstoff können in recht großer Menge vorhanden sein, manchmal aber fast gänzlich fehlen.

Nach Day und Shepherd bestehen die aus der heißen Lava im Halemaumaukrater ausströmenden Gase aus Stickstoff, Wasser, Kohlensäure, Kohlenoxyd, schwefliger Säure, Wasserstoff, Schwefelwasserstoff nebst kleinen Mengen von Chloriden, Fluoriden und vielleicht auch von Ammoniak. So mag ungefähr die Atmosphäre zu der Zeit zusammen gesetzt gewesen sein, als die Erdrinde eben sich gebildet hatte. Stickstoff, Wasserdampf und Kohlensäure waren die Hauptbestandteile; in den höheren Schichten Wasserstoff. Sauerstoff fehlte gänzlich, an seiner Stelle waren reduzierende Gase, wie Wasserstoff, schweflige Säure und Kohlenoxyd, in großer Menge vorhanden. Nun müssen wir aber auch hinzurechnen, daß die Kometen Kohlenoxyd, Cyan und Kohlenwasserstoffe, und die Meteoriten Argon

und Helium enthalten, und dürfen wohl annehmen, daß, wenn auch manche dieser Gase in den Kilaucsausströmungen nicht gefunden wurden, sie doch in der ältesten Atmosphäre enthalten waren, und daß die Edelgase unserer Luft mit-  
samt dem Stickstoff aus den äußeren Sonnenschichten zu uns gekommen sind.

Eine derartig beschaffene Atmosphäre könnten lebende Wesen nicht ertragen. Sollen Organismen in ihr gedeihen können, so muß sie von den Giften, dem Kohlenoxyd, dem Schwefelwasserstoff, dem Cyan und der schwefligen Säure, befreit werden. Und das ist auch im Laufe der Zeiten durch die umwandelnde Macht des Sonnenlichtes geschehen, das aus der Kohlensäure Kohlenstoff und Sauerstoff erzeugte. Durch elektrische Entladungen wurden dann jene giftigen Gase vom Sauerstoff oxydiert. Wir wissen ja alle, daß die Pflanzen ihren Körper unter der Wirkung des Sonnenlichtes aufbauen und dabei Kohlensäure, Wasser und Ammoniak verbrauchen. Unter Mithilfe des den Vorgang beschleunigenden grünen Pflanzenfarbstoffs, des Chlorophylls, entstehen hierbei neben Sauerstoff: Stärke, Cellulose, Zucker und Eiweiß. Diese Stoffe, die — mit Ausnahme vom Eiweiß — zu den Kohlenhydraten gehören, zerfallen schließlich bei ihrer Verwesung in Kohlenstoff und Wasser; und so ist das Endergebnis der durch das Sonnenlicht eingeleiteten Umwandlung der Kohlensäure die Spaltung derselben in ihre beiden Bestandteile: Kohlenstoff und Sauerstoff. Dieser Vorgang, der sich durch die Vermittlung des Chlorophylls verhältnismäßig schnell vollzieht, müßte auch, wenn auch viel langsamer, sich ohne diese abspielen. In letzter Zeit hat Daniel Berthelot darüber Versuche angestellt und es ist ihm geglückt, durch Anwendung von Licht von kurzer Wellenlänge ohne Chlorophyll den von den Pflanzen bewirkten wichtigen Vorgang nachzuahmen. In den vielen Millionen Jahren, die die Geologie als für die Entwicklung der Erde erforderlich nachgewiesen hat, ist die in der Luft vorhanden gewesene Kohlensäure nach und

nach in Sauerstoff und Kohlenstoff umgewandelt worden. Solange reduzierende Gase, wie die obengenannten Gifte, oder größere Mengen von Kohlenwasserstoffen oder von Wasserstoff in der Luft noch verblieben waren, wurde der Sauerstoff zu ihrer Verbrennung verbraucht. Hätte sich keine feste Rinde gebildet und den sich abscheidenden Sauerstoff gehindert, in die geschmolzene Masse, der Erde, einzudringen, so wäre er hineingewandert und hätte dort die reduzierenden Stoffe verbrannt. Die Trennung des Erdinnern von der umgebenden Gashülle durch eine feste Scheidewand war also eine wichtige Vorbedingung für die Erhaltung des freien Sauerstoffs in der Luft. Eine zweite Bedingung hierfür war ein so allmähliches Entweichen der brennbaren Gase aus den Vulkanschlünden, daß sie nicht hinreichten, den gleichzeitig produzierten Sauerstoff für ihre Verbrennung zu verbrauchen, und eine dritte bestand darin, daß der abgeschiedene Kohlenstoff sich nicht wieder oxydieren und den Sauerstoff binden durfte. Solange die Luft noch viele reduzierende Stoffe enthielt, war diese letztere Bedingung nicht von Bedeutung und an sich bereits erfüllt. War aber die Erdrinde einmal gebildet und hatte die starke Tätigkeit der Vulkane nachgelassen, so kam es dahin, daß der freie Sauerstoff in der Luft sich erhielt. Die ehemals in ihr vorhanden gewesenen reduzierenden Gase waren bis auf einen sehr kleinen Bruchteil zu Wasser, Kohlen- und Schwefelsäure verbrannt und die Stickstoffverbindungen hatten den Stickstoff freigegeben, der sich dem bereits in der Luft vorhanden gewesenen beigesellte. Da konnten die ersten Pflanzen, wahrscheinlich niedere Algen, einwandern und sich im Weltmeer verbreiten. Die Kohlen- säure und die Chlorwasserstoffsäure wie auch die neu gebildete Schwefelsäure gelangten in die Gewässer und verursachten eine rasche Verwitterung des Gesteins unter Bildung von Kieselsäure und sauren Silikaten. Die weitere Entwicklung und Verbreitung der Gewächse beschleunigte die Sauerstoffbildung. Über die abgestorbenen Pflanzen

legte sich der Schlamm und schützte die vermodernden Teile vor dem Sauerstoff der Luft. So begann die Bildung der fossilen Brennstoffe. Koene in Brüssel hat zuerst darauf hingewiesen, daß die in der Erde angehäuften Kohlen und Schwefelverbindungen genügen würden, den gesamten Sauerstoff der Luft zu binden. Nähere Untersuchungen zeigen, daß die fossilen Kohlen dazu genügen. Es scheint also, als ob aller in der Luft vorhandene Sauerstoff von der Kohlensäure her stammt, die schon von Anfang an in der Luft vorhanden gewesen oder ihr durch die Vulkane aus dem Innern der Erde zugeführt worden ist.

Daß sowohl Kohlensäure als auch Wasser fortwährend aus dem Magma, dem feuerflüssigen Teile des Erdinneren, frei werden, kommt ohne Zweifel daher, daß die sauren Silikate leichter sind als die basischen und sich darum zuoberst im Magma ansammeln, wo sich die Kieselsäure infolgedessen in großem Überschuß anhäuft. Die wasser- und kohlen-säurehaltigen Verbindungen, die Hydrate und Karbonate, sind ebenfalls leicht und steigen daher in dieselben Schichten wie die Kieselsäure, werden von dieser zersetzt und lassen ihre Kohlensäure und das Wasser, die beide flüchtig sind, entweichen, während die aus ihnen entstehenden Silikate zurückbleiben. Dieser Vorgang spielt sich noch in der Gegenwart ab, wo, wie in den Vulkanen, das Magma zutage tritt. Das Magma enthält auch noch die flüchtigen Säuren: Schweflige Säure, Chlorwasserstoff und Schwefelwasserstoff. Auch diese gelangen mit den vulkanischen Gasen in das Wasser und befördern die Verwitterungsprozesse der Gesteine; die Kohlensäure bildet Karbonate, der Chlorwasserstoff Chloride. Die ersteren werden dem Meerwasser von den Schalthieren zum größten Teil entzogen und sammeln sich in den sedimentären Schichten an; die löslichen Chloride, zumeist Chlornatrium, verbleiben im Wasser. Der Schwefelwasserstoff, der wahrscheinlich aus dem im Magma vorhandenen Schwefeleisen durch Säuren gebildet wird, hat sich mit den zahlreichen in der Erde befindlichen

Schwermetallen zu schwer löslichen Sulfiden vereinigt, zum Teil ist er, gleich der schwefligen Säure, zu Schwefelsäure oxydiert worden, die, im Verwitterungsprozeß mitwirkend, Sulfate erzeugte, von denen der Gips in den sedimentären Gesteinen sich abgelagert hat.

Die Geologen sind früher der Meinung gewesen, daß die Erde langsam erkaltet. Dagegen spricht die Tatsache, daß kalte Perioden, Eiszeiten, bestanden haben, die von warmen Zeiten abgelöst wurden. Man suchte zuerst dieser Schwierigkeit dadurch zu begegnen, daß man nach Crolls Vorschlag annahm, einer jeden Eiszeit auf der nördlichen Halbkugel hätte eine warme Zeit auf der südlichen entgegengestanden, und vice versa. So konnte die Mitteltemperatur auf der ganzen Erde, trotz der auf beiden Halbkugeln vorkommenden Schwankungen, abnehmen. Als man jedoch selbst in den Tropen, in der Nähe des Äquators, auf dem Kilima Ndscharo, in Neu-Guinea und anderwärts Spuren von Eiszeiten gefunden hatte, wurde eine derartige Erklärung unhaltbar. Jetzt neigt man fast allgemein der Annahme zu, daß die Temperatur während der letzten großen Eiszeit auf der ganzen Erde zwischen  $4^{\circ}$  bis  $5^{\circ}$  niedriger war als jetzt. Die Vereisungen von Nord-Europa, Nord-Ost-Amerika, Süd-Amerika längs der Chilenischen Küste und von Argentinien sowie der südlichen Insel von Neu-seeland scheinen gleichzeitig bestanden zu haben. Auch während älterer Perioden, der algonkischen und permischen Formation, sind Eiszeiten gewesen. Die letztere, in Australien, Indien und Süd-Afrika nachgewiesen, heißt die Gondwanazeit und es wurde vermutet, daß sich während ihres Bestehens keine Temperaturniedrigung auf anderen Gebieten, außer den genannten, eingestellt hätte. Spätere Untersuchungen machen es jedoch, wie Holland in seiner Präsidentenrede 1912 in der Sitzung der geologischen Sektion der British Association ausführte, wahrscheinlich, daß auch diese Eiszeit sich über die ganze Erde erstreckt habe.

Die algonkische Periode bildet einen der ältesten Ab-

schnitte der Erdgeschichte, und es scheint darum, daß, solange Leben auf der Erde war, ihre Temperatur, im ganzen genommen, sich, wenn auch mit bedeutenden Schwankungen zwischen kalten und warmen Zeiten, unverändert erhalten hat. Für die Erklärung dieser Schwankungen gibt es kaum etwas anderes als Veränderungen der wärmeschützenden Kraft der Atmosphäre infolge wechselnder Zusammensetzung anzunehmen. Warme Perioden stellten sich ein, wenn ihr Kohlensäuregehalt durch anhaltende lebhaftere Tätigkeit der Vulkane vermehrt wurde, kalte, wenn sie arm an Kohlensäure war. Stieg die Temperatur, so wuchs auch der Feuchtigkeitsgrad der Luft und vermehrte den Wärmeschutz.

Es sieht nun so aus, als ob die mittlere Temperatur der Erdoberfläche sich in der unfassbaren, auf etwa 500 Millionen Jahre geschätzten Zeit kaum nennenswert geändert hätte. Nach innen zu, gegen den Mittelpunkt, schreitet jedoch aller Wahrscheinlichkeit nach eine langsame Abkühlung fort. Immer größere Massen werden vom Vulkanismus aus dem Innern der Erde herausbefördert. Die sedimentären Ablagerungen wachsen immer mehr an und innen wird die Erde leer, so daß ihre Rinde allmählich einsinken und sich an vielen Stellen spalten muß. Durch diese Risse dringen nun die vulkanischen Massen ins Freie, und die Vulkane liegen darum, in Reihen geordnet, längs den Spalten. An Stellen, wo der Vulkanismus minder lebhaft ist, werden die Spalten durch heiße Quellen kenntlich, die gewöhnlich viel Kohlensäure, manchmal Schwefelwasserstoff oder schweflige Säure enthalten. Auch die Senkungen der Erdrinde treten an diesen Spalten auf und machen sich durch Erdbeben bemerkbar. Durch Zusammenfassung all dieser Erscheinungen ist es geglückt, die Spalten kartographisch festzulegen. Sie gehen gewöhnlich strahlenförmig und fast geradlinig von einem Punkte, dem Einsturzzenentrum, aus, wie die Sprünge einer Glasscheibe, die an einer Stelle von einem kräftigen Stoß getroffen worden ist. Wir



werden später noch sehen, daß auf allen mit einer festen Rinde versehenen Himmelskörpern, die von der Erde aus beobachtet werden können, solche ganz charakteristische Sprünge und Einsturzzentren wahrgenommen werden können.

Wir sind nun instande, uns ein Bild von dem Verlauf der Entwicklung unserer Atmosphäre zu machen. Die ursprünglich in der Atmosphäre enthalten gewesenen Gase wirkten alle, mit Ausnahme des Wasserstoffs, des Stickstoffs und der Edelgase, stark licht- und besonders wärmeabsorbierend. So besitzen auch die Planeten, die noch von keiner festen Rinde umschlossen sind, also unsere großen Planeten, eine stark absorbierende Dunsthülle (vergl. Fig. 12). Nachdem die Rinde gebildet war, wurde die Luft durch die Sonne von diesen Gasen allmählich befreit; es blieben dann nur noch Stickstoff und Sauerstoff und ein wenig von den Edelgasen nebst Kohlensäure und Wasserdampf zurück und die Temperatur nahm schnell ab. Da verblieb nur die Kohlensäure als letzter Wärmeschutz. Mit der fortschreitenden Verdickung der Erdrinde verminderte sich die Zufuhr von Kohlensäure, die andererseits bei der Verwitterung der Gesteine verbraucht wurde, und die Temperatur sank langsam weiter, doch mit ausgeprägten Schwankungen, weil die Tätigkeit der Vulkane, der Kohlensäurelieferanten, nicht zu allen Zeiten an Stärke sich gleich blieb. Indem aber der Verwitterungsprozeß mit der Zunahme und Abnahme der Kohlensäure in gleichem Maße wuchs und zurückging, stellte sich zwischen Zufuhr und Verbrauch dieses Gases ein Gleichgewicht ein. Die ganze Entwicklung konnte jedoch nur in dem Sinne einer Temperaturabnahme erfolgen. Das mußte schon darum so sein, weil der Energievorrat und damit die Wärmestrahlung der Sonne langsam abnehmen mußten. Die Kohlensäurezufuhr verringerte sich mit dem Anwachsen der Erdrinde, und das hatte zur Folge, daß der Pflanzenwuchs und damit die Erzeugung von Sauerstoff zurückging. Sauerstoff wurde aber auch bei der Ver-

witterung verbraucht, weil die in den Gesteinen vorhanden gewesenen Ferroverbindungen in Ferriverbindungen unter Sauerstoffbindung übergangen. So muß der Gehalt der Luft an diesem Gase durch ein Maximum gehen und dann abnehmen. Man hat berechnet, daß die gesamte in der Luft enthaltene Kohlensäure in einigen tausend Jahren verbraucht sein würde, wenn nicht für beständige Zufuhr aus dem Erdinnern gesorgt wäre. Auch Wasser wird bei dem Verwitterungsprozeß verbraucht, und zwar um so mehr, je mehr die Temperatur sinkt und die Bildung wasserhaltiger Salze dadurch fördert. Die Wassermasse der Ozeane ist indessen ganz gewaltig im Vergleich zu der Menge der Kohlensäure in der Luft und im Meerwasser zusammen etwa 50 000 mal so groß, und es wird sich daher der Mangel an Kohlensäure viel früher einstellen als Wassermangel, obwohl auch noch eine allmähliche, durch die fortschreitende Abkühlung jedoch beschleunigte Austrocknung des Planeten hinzukommt. Der Feuchtigkeitsgehalt der Luft geht dadurch zurück und mit demselben auch die Menge der Niederschläge. Mächtige Eisfelder beginnen, wie in den Eiszeiten, sich um die Pole auszubreiten und in sich einen großen Teil des Seewassers aufzuspeichern. Schließlich wird der ganze Planet, nachdem er vielleicht Millionen Jahre hindurch Leben beherbergt hat, eine Eiswüste mit einigen Spalten auf seiner harten Fläche, durch die warme, mit sauren Dämpfen geschwängerte Dünste aufsteigen und kleine aufgetaute, sich durch ihre dunklere Farbe von den Wüsten- und Eisflächen abhebende Flecken bilden. Die Bedingungen für das organische Leben sind geschwunden; der Planet ist tot, aber seine von der Schwerkraft vorgeschriebene Bahn im Himmelsraum hört er nicht auf zu durchmessen.

---

## Kapitel VI.

# Der Planet Mars.

Die Arbeiten Schiaparellis, Flammarions und Lowells haben in weiten Kreisen die Aufmerksamkeit auf unseren Nachbarplaneten, den Mars, gelenkt. Mehrere Forscher, darunter Flammarion und Lowell, glauben aus voller Überzeugung versichern zu können, daß der Mars von hochintelligenten Wesen bewohnt sei, die die eigentümlichen „Kanäle“, die nur die Schöpfung von den Menschen an Intelligenz weit überlegenen Wesen sein können, gebaut haben und erhalten.

Dort gibt es Luft, Wasser und Sonnenschein, sagt Flammarion in seiner bekannten umfangreichen Schrift: „La planète Mars“ (1902, S. 515). „Es erscheint uns unmöglich, eine Welt, wie diejenige des Mars, wo alle Lebensbedingungen vorhanden sind, zu einem solchen Schicksal zu verurteilen,“ nämlich: eine trockene Wüste zu sein. Ohne Zweifel spielen Gefühle und Wünsche, wie schon die von Flammarion gewählten Ausdrücke andeuten, eine Hauptrolle bei seinen Schlußfolgerungen.

Der Mars ist von der Sonne so viel weiter entfernt als die Erde, daß die Stärke der Bestrahlung auf ihm nicht mehr als 43 Hundertstel von derjenigen auf der Erde beträgt. Danach muß die mittlere Temperatur dort weit unter derjenigen der Erde, weit unter dem Gefrierpunkt des Wassers liegen, und man kann sich darum schwer vorstellen, wie eine Vegetation in der Nähe der Marspole —

nach Lowell in: „Mars as the abode of life“, 1909 — oder überhaupt auf demselben — an den Kanälen, nach Flammarion — möglich sein sollte.

Die Frage war aber angeregt und darum war es natürlich, daß die für die Beobachtung besonders günstigen Verhältnisse bei der letzten Nähe des Mars im Jahre 1909, die viel günstiger waren als je in den vorangegangenen 17 Jahren, von den Astronomen benutzt wurden, ihre in der letzten Zeit sehr verschärften Instrumente auf unsern rot leuchtenden himmlischen Nachbar zu richten.

Unzähligemale vorher hatten schon zahlreiche Astrophysiker, darunter die hervorragendsten Vertreter ihres Faches, den Mars mit ihren Spektroskopen nach dem Vorhandensein von Wasserdampf durchforscht. Im Sonnenspektrum zeigen sich mehrere sogenannte Regenbanden, die entstehen, wenn das in das Spektroskop fallende Licht vorher durch feuchte Luft gegangen war. Je feuchter die Luft, desto kräftiger werden diese Regenbanden. Beobachtete man nun das Spektrum des Mondes, der ganz ohne jede Atmosphäre ist und darum auch frei von jedem Wasserdunst, und dann dasjenige des Mars, so mußte man einen Unterschied in den beiden Spektren wahrnehmen, sofern die Marsatmosphäre Wasserdampf in merklicher Menge enthält. Die Regenbanden des Sonnenlichtes mußten in dem vom Mars kommenden reflektierten Sonnenlicht bedeutend verstärkt sein, weil dieses Licht, von der Sonne zum Mars und von da zu uns, zweimal durch die Marsatmosphäre geht, während sie in dem Mondlicht unverändert bleiben mußten. Die Regenbanden werden zwar in beiden Fällen sichtbar sein, da die Feuchtigkeit der Erdluft nicht ausgeschaltet werden kann, diese ist aber in beiden Fällen genau gleich. Die beiden weltberühmten Forscher, Huggins und Janssen, haben solche Beobachtungen angestellt und glaubten bewiesen zu haben, daß Wasserdampf auf dem Mars vorhanden sei. Anderseits haben der hervorragende gegenwärtige Vorsteher des

Lick-Observatoriums, Campbell, im Jahre 1894 und ein französischer Astronom, Marchand 1896 und 1898, die unter außergewöhnlich günstigen Verhältnissen beobachten konnten — ihre Beobachtungspunkte lagen 1283 und 2800 m über Meeresniveau — keine Andeutung von Wasser im Luftkreise des Mars gefunden.

Die Beobachtungen würden ja bedeutend schärfer ausfallen, wenn die Erdluft keine Feuchtigkeit enthielte. Dann würde das Mondspektrum überhaupt keine Regenbänder zeigen und man brauchte es gar nicht zum Vergleich mit dem Marsspektrum heranzuziehen. Nun kann man aber dem in der Luft enthaltenen Wasserdampf niemals ausweichen, aber vermindern kann man seinen Einfluß, wenn man die Beobachtungen auf hohen Bergen oder in Wüsten ausstellt, wo die Luft verhältnismäßig trocken ist. Solche in trockener Luft ausgeführte Beobachtungen verdienen daher mehr Vertrauen als in verhältnismäßig feuchter Luft ausgeführte, und das trifft für die Beobachtungen von Campbell und Marchand zu, die beide in trockener Luft gemacht worden sind und es als mindestens zweifelhaft erscheinen lassen, daß auf dem Mars Wasserdampf in meßbarer Menge vorhanden sei.

Später haben Campbell und Keeler eine verbesserte Methode angewandt. Sie haben die Spektren photographiert, aber keinem von beiden ist es geglückt, Wasserdampf in der Marsatmosphäre wahrzunehmen.

Die photographische Methode hat der direkten Beobachtung mit dem Auge gegenüber große Vorteile. Die Photographien können nebeneinander gelegt und in Ruhe sehr genau ausgemessen werden. Sie lassen sich für jede beliebige Zeit aufbewahren. Man kann ferner den Zeitpunkt wahrnehmen, zu dem die zu beobachtenden Himmelskörper gleich hoch am Himmel stehen und das von ihnen reflektierte Sonnenlicht demzufolge einen gleich langen Weg durch die wasserhaltige Luft der Erde zurückzulegen hat.

Es ist darum sehr erfreulich, daß Lowell zur Prüfung seiner Ansicht die großartigen Hilfsmittel anwenden konnte, die ihm auf seinem ungefähr 2200 m über dem Meere gelegenen Observatorium Flagstaff in Arizonas Wüstenland zu Gebote stehen. In den Monaten Januar und Februar liegt dort der Taupunkt bei ungefähr  $-7^{\circ}$ , was besagt, daß auf der  $m^3$ -Luft 2,8 g Wasser kommen, während feuchtigkeitsgesättigte Luft bei  $0^{\circ}$  fast doppelt so viel, nämlich 4,8 g im  $m^3$ , enthält. Slipher, der in Lowells Observatorium arbeitete, steigerte die Empfindlichkeit seiner photographischen Platten bis zur äußersten Möglichkeit und photographierte das Marsspektrum im Januar und Februar 1908. Er fand die wichtigste Regenbande darin jedesmal viel stärker als in dem in derselben Nacht etwas später aufgenommenen Mondspektrum. Sehr merkwürdig ist es, daß nur die im Rot liegende, mit „a“ bezeichnete Regenbande einen deutlichen Unterschied in den beiden Spektren zeigte. An den anderen Regenbanden war keine Andeutung von einem Wassergehalt der Marsatmosphäre wahrzunehmen. Das widerspricht aber nicht den Beobachtungen von Campbell und Keeler. Diese Forscher haben nicht die „a“-Bande, sondern andere Regenbanden untersucht und es ist möglich, daß die „a“-Linie empfindlicher gegen Wasserdampf ist als die anderen.

Sliphers Resultate erschienen so wertvoll, daß man sie aufs genaueste zu berechnen sich verpflichtet fand. Man berief den bekannten Physiker Very, der die Linien auf den Photographien genau ausmaß und aus deren Stärke den Schluß zog, daß in der Marsatmosphäre 1,75 mal so viel Wasser enthalten war als in der Erdluft an der Aufnahmestelle. Daraus kann man auf nachfolgende Weise berechnen, wieviel Wasserdampf in der Marsluft an dessen Oberfläche enthalten ist. Eine vertikale Luftsäule von  $1 m^2$  Querschnitt enthält ungefähr 2500 mal soviel Wasserdampf als ein Kubikmeter Luft auf dem Erdboden. An der Aufnahmestelle hatte letztere 2,29 g im Kubikmeter, und

es ruhen dort also 5725 g Wasserdampf über jedem Quadratmeter auf der Erde. Obwohl der Luftrat um weit höher ist, rechnen wir doch nach Hann nur mit einer Luftsäule von 2500 m, weil der Wassergehalt der Luft infolge der nach oben zu rasch sinkenden Temperatur in großer Höhe verschwindend klein wird (vgl. S. 80). Auf dem Mars ist die Schwerkraft 2,68 mal kleiner als auf der Erde und die Temperatur nimmt deshalb auch 2,68 mal langsamer nach oben ab. Es würde also eine Luftsäule auf dem Mars der auf der Erde angenommenen von 2500 m entsprechen, wenn sie 2,68 mal so hoch wäre, also 6700 m, und danach würde in einem Kubikmeter Marsluft auf der Mars

oberfläche  $\frac{1}{6700}$  von dem in der ganzen Säule befindlichen Wasserdampf enthalten sein. Nun hat der Mars während der Aufnahme nicht im Zenith gestanden. Der von ihm kommende Lichtstrahl durchlief einen 1,43 mal längeren Weg durch die Erdluft, als wenn er von einem Punkte im Zenith ausgegangen wäre. Die in der Beobachtungsrichtung liegende Luftsäule enthält demnach  $5725 \times 1,43 = 8186$  Gramm Wasserdampf. In der Marsluftsäule war 1,75 mal so viel = 14300 g Wasserdampf und es enthielt daher ein

Kubikmeter Luft an der Marsoberfläche  $\frac{14300}{6700} = 2,12$  g.

Der Taupunkt auf dem Mars liegt nach diesen Beobachtungen bei  $-10,3^\circ$ . Man ist nun allgemein der Ansicht, daß das Klima auf dem Mars Wüstencharakter hat und, bei Gelegenheit der Beobachtungen, etwa dem außerordentlich trockenen an der Großen Salzsee in Nordamerika während des Hochsommers entsprechen mag, wo die Luft nur 31% der Sättigungsmenge an Feuchtigkeit enthält. Unter solchen Verhältnissen würde die Marsluft am Äquator zur Mittagszeit  $5,3^\circ$  warm sein.

Selbstverständlich konnte das alles nicht sehr ermunternd für Lowell sein. Wird die Temperatur am Mittag bei senkrechtem Einfall der Sonnenstrahlen nicht höher als

gegen  $5^{\circ}$ , so muß das Mittel von Tag und Nacht selbst im Hochsommer in dieser klaren dünnen Luft bedeutend unter den Gefrierpunkt sinken, und eine Vegetation auf dem Mars ist dann nicht gut denkbar. Trotzdem erblickt Lowell in Sliphers Messungen eine Bekräftigung seiner Meinung, daß der Mars eine intelligente Bevölkerung beherberge, die eine kräftig grünende Vegetation bis in die Polarkreise hinauf hegt und für ihre Existenz benutzt.

Inzwischen ging Campbell noch einen Schritt weiter als Slipher. Im September 1909 hatte der Mars eine für die Beobachtung sehr günstige Stellung. Mit Unterstützung eines reichen Förderers, Mr. Crocker, der schon bei verschiedenen Gelegenheiten, selbst für amerikanische Verhältnisse großartige Spenden für astronomische Forschungsreisen gewährt hatte, rüstete Campbell eine Expedition auf den 4420 m hohen Mount Whitney in Kalifornien, den höchsten Punkt in Nordamerika, aus. Er war von einem tüchtigen wissenschaftlichen Stabe begleitet, zu dem Dr. Abbot, der Vorsteher des Observatoriums des Smithsonian Institution, und der bekannte deutsche Astronom Albrecht gehörten. Die Mitglieder der Expedition hatten viel unter der Bergkrankheit und den Strapazen zu leiden. Der Wind war stürmisch, ungefähr 25 m in der Sekunde, und kalt, bei Nacht unter  $0^{\circ}$ . Der Luftdruck war nur 447 mm. Bei Nacht, während der Aufnahme, ging die Feuchtigkeit der Luft bis auf 0,5—0,9 g im Kubikmeter herunter, war also  $2\frac{1}{2}$  bis 4 mal geringer als bei Sliphers Aufnahmen. Mond und Mars wurden kurz hintereinander photographiert und jedesmal in doppelter Aufnahme. Die „a“-Bande erschien deutlich auf den Photographien und es war keine Spur von einer Verstärkung derselben in den Marsspektren gegen die Mondspektren wahrzunehmen. Auch andere Regenbanden boten dasselbe Bild. Die für den Sauerstoff charakteristischen Banden schienen ebenfalls in beiden Spektren gleich zu sein, doch glaubte Slipher einen — wohl sicherlich haarfeinen — Unterschied



zu bemerken, der für die Anwesenheit von Sauerstoff auf dem Mars spräche. Ein solches Vorkommen wäre ja an und für sich nicht unwahrscheinlich, doch dürfte die Menge des Sauerstoffs auf dem Mars nur sehr spärlich sein.

Nach manchen Beobachtungen und Angaben von Campbell sowohl als Slipher müßte ein Unterschied in den Spektren von Mond und Mars erkennbar werden, wenn der Wassergehalt der Marsluft gleich ist demjenigen der Erdluft zur Zeit und am Ort der Beobachtung. Letzterer Gehalt war, wie bemerkt, während der Aufnahmen auf dem Mount Whitney etwa 3 mal kleiner als während denen auf Flagstaff. Aus letzteren konnte man schließen, daß die Wassermenge in der Marsatmosphäre 1,75 mal größer war als die der Erdluft. Nach Campbells Beobachtungen wären also in der Marsluft, als die Sonne dort im Zenith stand, nicht mehr als 0,4 g Wasser im Kubikmeter enthalten. Das würde einem Taupunkt von  $-28^{\circ}$  oder einer wirklichen Temperatur von  $-17^{\circ}$  entsprechen, wenn man ein wahres Wüstenklima mit einem Sättigungsgrad der Luft von nur 31% voraussetzt. Diese Temperatur ist wahrscheinlich noch höher als das Mittel von Tag und Nacht eines Sommertages, da die Photographien zur Zeit des Mittags auf dem Mars aufgenommen worden sind.

Nach all diesem ist es klar, daß wir den Mars nicht als eine für lebende Wesen geeignete Wohnstätte ansehen dürfen. Möglicherweise gibt es dort ein Spürchen Sauerstoff in der dünnen Luft. Die niedrige Temperatur und der spärlich zugemessene Wasserdampf bilden ein unübersteigliches Hindernis für den Bestand auch des einfachsten Organismus im Äquatorialgebiet des Mars. Der Unterschied zwischen Tag- und Nachttemperatur muß wegen des Wüstenklimas ungeheuer groß sein. Es wäre denkbar, daß die Temperatur am Tage, der auf dem Mars fast dieselbe Länge hat wie bei uns (nach Lowell dauert die Umdrehung 24 Stunden, 37 Minuten, 22,6 Sekunden) über den Gefrierpunkt käme; aber jedes Leben, das sich da vielleicht ent-

wickelte, würde unbarmherzig von dem grimmigen Nachtfrost vernichtet werden.

Bei genauer Prüfung der Verhältnisse, unter denen Slipher gearbeitet hat, fand Campbell den Grund, warum dessen Photographien Wasser auf dem Mars angaben. Slipher hat die Mondaufnahmen ungefähr vier Stunden später in der Nacht gemacht als die Marsaufnahmen. Während sämtlicher Aufnahmen, mit Ausnahme einer einzigen, standen Wolken in der Luft. Es war also Wasser in der Luft enthalten, und der Feuchtigkeitsgrad derselben mußte sich mit der im Verlauf der Nacht rasch sinkenden Temperatur ändern. Campbell beobachtete selbst in den klaren Nächten, als er seine Aufnahmen machte, daß die Luftfeuchtigkeit in den Stunden vor Mitternacht auf die Hälfte oder den dritten Teil von ihrem Betrag einige Stunden nach Sonnenuntergang gesunken war. Nun ist diese Abnahme jedenfalls auf die Luftschicht beschränkt, die zunächst über der und um die Stelle liegt, wo der Beobachter sich befindet. Da aber die Feuchtigkeitskonzentration gerade in den tieferen Schichten sehr stark ist, so muß ihre Änderung mit in Rechnung gezogen werden. Oder man muß, was besser ist, Aufnahmen in den ersten Nachtstunden vermeiden und im übrigen die Spektra vom Mars und vom Mond sehr schnell hintereinander photographieren. Das waren Vorsichtsmaßregeln, die Campbell, aber nicht Slipher, befolgte. Daß Slipher Anzeichen für einen geringeren Wassergehalt auf dem Monde als auf dem Mars erhielt, liegt jedenfalls daran, daß er den ersteren gegen Mitternacht aufnahm und den letzteren kurz nach Sonnenuntergang, gegen 7 Uhr, wo die Erdatmosphäre mehr Wasserdampf enthält als um Mitternacht. Hieraus sieht man, wie ein kleines Versehen, das wohl einem Astronomen, aber keinem Meteorologen zustoßen kann, eine im übrigen außerordentlich sorgfältig ausgeführte Arbeit verderben kann.

Auf Campbells Kritik der Messungen im Lowell-Ob-

servatorium antwortete Very mit einem Hinweis darauf, daß die meteorologischen Verhältnisse auf dem Mount Whitney während Campbells Untersuchungen sehr ungünstig gewesen seien. Der ganze südwestliche Teil der Vereinigten Staaten und Mexiko hätten zu jener Zeit trübes Wetter mit strömendem Regen gehabt. Die Feuchtigkeit hätte sich auch in die höheren Luftschichten über dem Mount Whitney verbreitet und die Berechnungen ihres Wassergehaltes seien darum ganz unzuverlässig.

Gleichzeitig (August 1910) wurden neue, von Very nachgeprüfte Ausmessungen der Slipherschen Platten vom Februar 1908 veröffentlicht. Very stellte fest, daß die Regenbande „a“ auf der Marsplatte 2,5 mal stärker wäre als auf der Mondplatte, und daß die beiden Sauerstoffbanden „B“ in gleichem Verhältnis zueinander stünden wie die „a“-Banden. Er hielt es deshalb für erwiesen, daß sowohl Wasserdampf als auch Sauerstoff in großen Mengen in der Marsatmosphäre vorhanden wären.

Inzwischen setzte Campbell seine Versuche fort. Bei dem alten Verfahren waren die Ausmessungen dadurch sehr erschwert, daß die Absorptionslinien des Wasserdampfes im Mars und die des Wasserdampfes der Erdluft an ein und derselben Stelle im Spektrum liegen. Diese Schwierigkeit zu vermeiden gibt es aber einen Weg, auf den Campbell schon 1896 hingewiesen hatte. Nähert sich der Mars der Erde oder entfernt er sich von ihr mit einer hinreichenden Geschwindigkeit, so verschieben sich sämtliche Sonnenlinien in seinem Spektrum. Aus diesen Verschiebungen lassen sich diese Geschwindigkeiten ebenso berechnen wie aus den bekannten Bewegungen der Erde und des Mars, und beide Rechnungen gaben vollkommen übereinstimmende Resultate. So war vom 26.—27. Januar 1910 die relative Geschwindigkeit zwischen Erde und Mars nach astronomischer Berechnung 19,1 Km. in der Sekunde und 19,2 Km. nach der spektroskopischen Ausmessung. Am 3.—4. Februar ergaben die beiden Rechnungen einen Unterschied von nur

1 Km. Die Zuverlässigkeit dieser Methode ist also erwiesen. Die Untersuchung der Linien des Wasserdampfes und des Sauerstoffs führte zu keinem Anzeichen, daß diese Körper in der Marsatmosphäre vorkämen. Campbell meint, daß sie sicherlich erkannt werden müßten, wenn sie nur ein Fünftel so stark wären wie die entsprechenden „tellurischen“ Linien. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, daß die Marslinien und die tellurischen Linien auf derselben Platte unmittelbar nebeneinander liegen, so daß jede Störung durch verschiedene Empfindlichkeit der Platten oder verschiedene Expositionszeit und durch das Verhalten der Luft ganz ausgeschlossen ist.

Aus diesen Angaben in Gemeinschaft mit denen über den Wassergehalt der Luft an der Beobachtungsstelle (1,9 g im m<sup>3</sup>), die Zenithdistanz des Mars (55') und die Einfallsrichtung der Sonnenstrahlen auf den Mars (70° gegen die Marsoberfläche) läßt sich berechnen, daß der Wasserdampfgehalt auf dem Mars nur 0,12 g im m<sup>3</sup> war, entsprechend einer Sättigungstemperatur von -38° und einem Wärme-grad von -27° für Luft von 31% Feuchtigkeitsgehalt. Die Menge des Sauerstoffs auf der Marsoberfläche geht nicht über ungefähr den sechzehnten Teil des entsprechenden Gehaltes in der Erdluft hinaus. Diese Bestimmungen sind schärfer als irgendwelche vorher ausgeführte und führen ferner zu einer um 10° niedrigeren Temperatur als der tiefsten vorher berechneten. Man darf indessen nicht außer acht lassen, daß bei der Bestimmung im September 1909 die Sonne fast im Zenith auf dem Mars gestanden hat, während diejenigen vom Januar und Februar 1910 sich auf einen Punkt beziehen, an dem die Sonne erst vor etwa 4½ Stunden aufgegangen war, und sie darum wohl ziemlich nahe die mittlere Temperatur von Tag und Nacht, vielleicht etwas zu hoch, angeben mögen. Bestimmungen, die sich in bezug auf Sicherheit mit den letzten von Campbell ausgeführten messen könnten, sind seitdem nicht gemacht worden. Jene sind also als ausschlaggebend zu betrachten.

Aus der Stärke der Sonnenbestrahlung läßt sich die Temperatur der Oberfläche eines Planeten leicht berechnen, wenn in dessen Lufthülle keine Wärme zurückhaltende Gase enthalten sind. Die hauptsächlichsten derartigen Gase sind der Wasserdampf, dessen Menge, wie wir eben gesehen haben, in der Marsatmosphäre äußerst geringfügig ist, und die Kohlensäure, die wahrscheinlich ebenfalls, aus später auszuführenden Ursachen, daselbst nur ganz schwach vertreten sein kann. Solche Rechnungen hat zuerst Christiansen in Kopenhagen ausgeführt. Er hat die Sonnenkonstante, das ist den Energieinhalt einer Sonnenbestrahlung, die eine Minute lang auf eine senkrecht gegen sie gerichtete Fläche von einem Quadratzentimeter in der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne fällt, gleich 2,5 Kalorien angenommen. Auf dem Mars beträgt unter entsprechenden Verhältnissen die Energie der Sonnenbestrahlung nur 1,1 Kalorien. Die Oberfläche erwärmt sich so lange, bis sie selbst so viel Wärme in den kalten Raum ausstrahlt, als sie von der Sonne empfängt. Die Rechnung ergibt eine mittlere Temperatur von  $-37^{\circ}$  für die ganze Marsoberfläche. Die Gebiete, für die die Sonne im Zenith steht, könnten, wenn keine Wärme von ihnen fortgeleitet wäre, im Mittel von Tag und Nacht etwa  $+8^{\circ}$  erreichen, um die Mittagszeit möglicherweise etwas mehr. Wahrscheinlich aber kommt es dort kaum bis zum Gefrierpunkt, weil die Wärme von der leichtbeweglichen Luft schnell entführt wird. Die oben angegebene mittlere Temperatur von  $-37^{\circ}$  stimmt im ganzen recht gut mit Campbells Beobachtungen auf dem Mount Whitney überein.

Neuere genaue Bestimmungen der Stärke der Sonnenstrahlung von Abbot, K. Ångström u. a. zeigen, daß die obige Schätzung der Sonnenwärme etwa 20% zu hoch ist. Rechnet man die Sonnenkonstante zu rund 2 Kalorien, was etwas zu hoch ist, so kommt man zu  $50^{\circ}$  unter Null für die mittlere Temperatur auf dem Mars. Die äquato-

rialen Gebiete können eine mittlere Temperatur von  $-8^{\circ}$  erreichen und zur Mittagszeit auf einige Grad über Null kommen. An den Polen hingegen, wo die Sonne im Hochsommer monatelang über dem Horizont steht, könnte die Temperatur höher, bis  $+8^{\circ}$ , steigen, wenn keine Wärme durch Luftströmungen weggeführt würde. Selbstverständlich geschieht das, und die Temperatur wird wohl ziemlich in der Nähe des Gefrierpunktes bleiben. Man kann sich daher vielleicht vorstellen, daß an den Marspolen irgend welche niedrigen Gewächse (Schneecalgen u. dgl.) während des kurzen Hochsommers sich entwickeln könnten.

Haben wir bis jetzt auf Lowells, Verys und anderer Autorität hin  $+10^{\circ}$  als die mittlere Temperatur auf dem Mars angenommen, so geschah das, weil wir große Mengen wärmeschützender Gase in der Marsatmosphäre glaubten voraussetzen zu müssen. Diese Voraussetzung ist nicht mehr zulässig, sie ist es ebenso wenig, wie der Glaube an eine hohe Temperatur auf dem Mars. Wahrscheinlich ist die mittlere Temperatur des Mars ebenso wie diejenige der Erde, etwa  $10^{\circ}$  höher als die eben erwähnten Rechnungen ergeben. Sie wird etwa  $-40^{\circ}$  betragen, da die sehr klare Marsluft alle Sonnenstrahlen durchläßt und sich jedenfalls weder Wasserdampf noch vielleicht auch Kohlensäure oder andere Wärme erhaltende Gase in derselben befinden. Die mittlere Sommertemperatur am Marsäquator (nach Campbell  $-27^{\circ}$ ) dürfte ungefähr  $13^{\circ}$  höher sein als die mittlere Temperatur des ganzen Planeten. Das entspräche ziemlich den irdischen Verhältnissen, indem hier die höchste mittlere Temperatur am Äquator im Juli  $27^{\circ}$  beträgt bei einem Mittel von  $16^{\circ}$  für die ganze Erde.

Wir müssen also unsere Ansichten vom Mars gänzlich umändern. Der Glaube, daß organisches Leben — grüne Gewächse — die grüne Färbung des sogenannten Meeres auf dem Mars hervorbringe, wie Lowell annimmt, oder daß die rötliche Färbung von der Purpurfarbe des herbstlichen Laubes komme, wie Flammarion meint — dieser Glaube ist

in das Land der Träume verwiesen. Wer nicht glaubt, daß die sogenannten Kanäle wirkliche Kanäle für Schifffahrt und Bewässerungszwecke sind, oder nur Täuschungen, die durch die Photographie zunichte gemacht werden (Fig. 17), der ist der Ansicht, daß es Risse sind. Wie in der Erdrinde verlaufen diese fast geradlinig oder in unregelmäßig gekrümmten Bogen. (Fig. 16.) Flammarion berichtet, daß der berühmte Physiker Fizeau die Kanäle für Risse im Eise eines Meeres auf dem Mars gehalten hat. Penard äußerte 1888 die wahrscheinlichere Ansicht, daß es Risse seien, die den Rissen in der Erdrinde entsprächen. Flammarion behauptet jedoch, daß Erdrisse nicht so geradlinig sein können wie die Kanäle. Das ist, wie beistehende Figur 15 zeigt, ein vollkommener Irrtum. Es wird auch auf ihre unbegreifliche Länge hingewiesen. Der Kanal Phison z. B. ist 3620 Km. lang (Lowell). Der längste bekannte Erdbebenriß, an dem die Schollen der Erdkruste zugleich sich verschoben hatten, ist 600 Km. lang. Von diesem Riß war das starke Kalifornische Erdbeben vom April 1906 ausgegangen. Es besteht jedoch ohne Zweifel ein mächtiger Riß, der der Chilenischen Küste von Arica bis zur Magelhaen-Straße auf eine Länge von gegen 32 Breitengraden oder 3560 Km. in Nord und Süd fast geradlinig folgt. Dieser Riß ist fast so lang wie der Phison auf dem Mars. Auch der ganzen Küste des Stillen Ozeans entlang laufen solche Risse. Wir kennen ihre Lage noch nicht ganz genau, da lange Strecken unter dem Meere und durch Gegenden laufen, die noch keinem Kulturvolk angehören. Als Beispiel eines kleinen Risses mag das von Sederholm aufgenommene Bild von Segelskär, östlich von Hangö in Finnland, dienen. (Fig. 14.) Das in den letzten Jahren mit großem und wachsendem Interesse betriebene Erdbebenstudium wird sicherlich Risse in allen möglichen Ausdehnungen aufdecken. Übrigens ist die feste Rinde des Mars ohne Zweifel etwas dicker als die Erdrinde, da dort die Abkühlung schon weiter fortgeschritten ist als hier, und

darum müssen die durch die Brüche auf dem Mars entstehenden Splitter viel ausgedehnter in der Länge und Breite sein. Dazu kommt noch die geringere Schwere auf dem Mars (drei Achtel der Schwere auf der Erde) und



Fig. 14.

Schmale Bucht an der Westseite von Segelskär, östlich von Hangö in Finland. Die Bucht ist dadurch entstanden, daß eine von Rissen durchsetzte Partie vom Eise abgetragen wurde. Phot. von J. J. Sederholm.

die Krümmung seiner Oberfläche, die doppelt so stark ist als die der Erde. Man stelle sich zwei gewölbte Kuppeln vor, deren eine aus längeren und breiteren keilförmigen Steinen bei um die Hälfte kleinerem Halbmesser gebaut und noch dazu nur ein Drittel so stark belastet ist als die andere. Es ist klar, daß man die Spannweite bei der ersteren sehr viel größer nehmen darf als bei der letzteren, ohne einen Einsturz zu befürchten. Anders ausgedrückt: Soll ein Einsturz auf dem Mars erfolgen, so muß die Senkung sich



über ein viel größeres Feld erstrecken, als es auf der Erde dazu erforderlich ist.

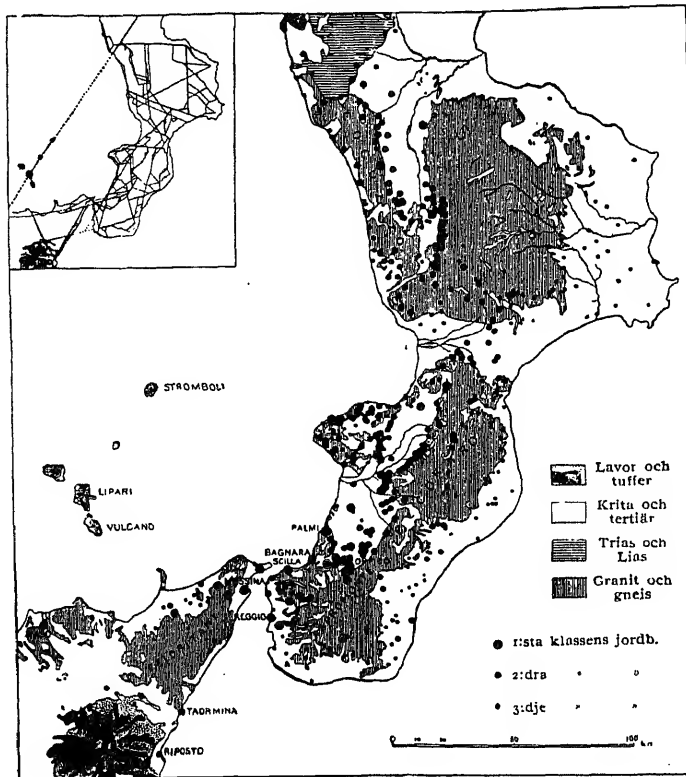


Fig. 15.

Die Erdbebengebiete in Calabrien und auf Sizilien. Auf der größeren Karte sind die betroffenen Orte angegeben, auf der kleineren die Erdbebenlinien.  
Nach J. J. Sederholm.

Darum müssen die Risse in der festen Oberfläche des Mars im allgemeinen länger werden als die entsprechenden Bildungen auf der Erde.

Eine genauere Untersuchung des großen Risses in Calabrien hat gezeigt, daß er aus einem ganzen Netz von kleineren, geradlinigen Rissen besteht, wie aus beistehender

Figur 15 ersichtlich, die den Arbeiten des bekannten finnischen Geologen Sederholm entlehnt ist. Auf dieser Karte sieht man auch einen der von Sueß gezeichneten Radialrisse (siehe *Werden der Welten*, 9.—13. Tausend, Fig. 15, S. 34), dessen Richtung unter dem Meere punktiert angegeben ist. Das Bild links oben in der Ecke von Fig. 15 zeigt eine auffallende Ähnlichkeit mit einer von Schiaparelli gegebenen Zeichnung des Planeten Mars in Mercators Projektion (vergl. die Mars-Karte Fig. 16 am Schlusse des Buches). Man sieht auf beiden die zahlreichen, gleichverlaufenden, parallelen Rissen und Doppelkanälen entsprechenden Linien. Nicht jeder Riß hat einen parallel verlaufenden neben sich, und auch nicht jeder Kanal auf dem Mars ist verdoppelt; gewöhnlich erscheint nur der eine von den beiden Kanälen, mitunter verschwinden beide.

Gleich wie die auf Sueß' Zeichnung wiedergegebenen Radialrisse gegen die Liparischen Inseln laufen, so vereinigen sich auch auf dem Mars verschiedene Kanäle in einem sogenannten See (Lowell nennt diese Gebilde Haine oder Oasen), der augenscheinlich ein Einsturzzentrum ist. (In der Fig. 16 und 16a erscheinen mehrere derartige Stellen.) Doch brauchen natürlich nicht alle Punkte, in denen sich Kanäle schneiden, Einsturzgebiete zu sein.

Wir nehmen also an: Die Marskanäle entsprechen den geologischen Verwerfungsrissen der Erde. An diesen Rissen treten die Gase zutage, die bei der Abkühlung des Mars oder der Erde frei werden und die auch den Schlünden der Vulkane entsteigen. Es sind dies: in erster Reihe Wasserdampf, dann Kohlensäure und, in bedeutend geringeren Mengen, schwefelhaltige Gase und Chlorwasserstoff. Sie strömen aus den Rissen in Gegenden, die, geologisch genommen, vor noch gar nicht so langer Zeit Schauplätze vulkanischer Tätigkeit gewesen sind. In den Verwerfungsrissen entstehen Seen und Flußläufe, wie man es z. B. in Schweden, besonders bei Stockholm, wahrnehmen kann.

Nehmen wir an, die Erde erkalte langsam. Die meisten

Strecken seien mit geschichteten, sagen wir lockeren Gesteinen bedeckt. In den Verwerfungsrissen sammle sich das Wasser aus der Umgebung, auch mitunter solches, das aus dem Innern der Erde dringt, und dieses Wasser spüle das lockere Gestein weg. Es entsteht eine gewöhnliche, flache Erdfurche. Das Wasser führt die gelösten Salze dem Meere zu. Nach weiterer Abkühlung der Erde beginnt das Meer zu vereisen. Jeden Sommer taut es ein wenig an der Oberfläche auf, wie gegenwärtig in den Polargebieten. Schließlich ist das ganze Meer bis auf den Grund gefroren und das Meereseis kann nun als ein Gestein angesehen werden, an dem weder Verwerfungen noch Verschiebungen vorhanden sind und das ein vollkommen ebenes Äußere angenommen hat. Bei starkem Sonnenschein im Sommer taut es, ebenso wie die Wasserläufe des Festlandes, auf, die ihre Salze dem Oberflächenwasser des Meeres zuführen. Bei herannahendem Winter friert es wieder zu, aber nicht oberflächlich, wie unsere Binnenseen, sondern vom Grund herauf, denn das gewöhnliche Seewasser ist am dichtesten unter seinem Gefrierpunkt, süßes Wasser hingegen über demselben. Darum gefriert jenes vom alten Eise am Grunde herauf, und das obere Wasser wird zuletzt zu einer konzentrierten Salzlösung, aus der bei weiterer Temperaturerniedrigung Salzkristalle und Eis sich abscheiden.

So etwa verhält es sich mit den flachen Wasserbecken auf dem Mars, die den Salzseen in unseren Wüsten entsprechen. Infolge der großen Kälte und des großen Wasserverbrauchs für die Gesteinsverwitterung (wobei auch die Kohlensäure zum größten Teil verzehrt worden ist) haben Niederschläge auf dem Mars fast ganz aufgehört. Was an Wasser zutage kommt, dringt aus dem Innern des Planeten an den Rissen hervor. Die in ihm enthaltene Chlorwasserstoff- und Kohlensäure bilden in dem Boden Salze, Kochsalz (Chlornatrium), Chlorcalcium und Chlormagnesium sowie Karbonate, die sämtlich in dem gewöhnlichen Seewasser vorkommen, wohin sie von den Flüssen hinein-

getragen werden. Die Kalk- und Magnesiumsalze werden nicht, wie in unseren Meeren, von Schalthieren aufgenommen und als kohlensaure Salze ausgeschieden. Unter der starken Sonnenstrahlung im Sommer verdunstet das Wasser zum Teil in der dünnen Luft. Bei gleicher Temperatur müßte die Verdunstung auf dem Mars wenigstens zwölfmal schneller gehen als auf der Erde, bei der niederen Temperatur aber, die dort herrscht, wird die Verdunstung etwas langsamer sein als auf der Erde. Die Salze bleiben zurück und es entstehen an den Rissen entlang eine Art eintrocknender Salzseen, wie die von Hedin beschriebenen gewöhnlich seichten, zuweilen ausgetrockneten Seen in den Wüsten Zentralasiens. Ist doch auch das Klima auf dem Mars ausgeprägt wüstenartig. An den tiefsten Stellen der Wasserläufe verbleibt schließlich eine konzentrierte Salzlösung, die mit der Zunahme der Konzentration das Wasser immer schwieriger abgibt, und diejenigen Salze kristallisieren in den tiefsten Stellen aus, welche das Wasser am kräftigsten festhalten. Wird die Winterkälte stark genug (unter  $-55^{\circ}$ ), so friert selbst aus den konzentriertesten Lösungen, die in der Hauptsache Chlorkalcium enthalten, Eis aus. Aber selbst bei diesen äußerst niedrigen Temperaturen findet noch Verdunstung in der dünnen Luft statt, und es verschwindet ein Teil des auskristallisierten Eises, um sich an dem der Sonne abgewendeten Pole, auf den kältesten Strecken des Planeten, wieder abzusetzen. Dann entsteht dort, bis in das gefrorene Meer hinein, eine weiße Polarkalotte von Reif und Schnee, die sich schließlich auf der südlichen Halbkugel des Mars (Fig. 17 und 18)), die Winter hat, während der Mars in Sonnenferne ist, bis zum 38. Breitengrade erstreckt, auf der nördlichen Halbkugel aber nur bis zum 58. Breitengrade (Fig. 18), weil dort der Winter in die Sonnennähe fällt und die Abkühlung darum nicht so stark wird. Ähnlich verhält es sich auf der Erde, aber die Dinge sind hier nicht in solcher Schärfe ausgeprägt.

In der Nähe der schneeweißen Polarkalotten, sei dort Festland oder Meer, liegen die hartgefrorenen Gewässer unter einer Decke von äußerst wasserbegierigen — hygro-



Fig. 17.

Vergrößerte und retouchierte Photographie des Mars von Lampland.



Fig. 18.

Erscheinung des Mars am 8. April 1907 nach der Beobachtung von Quénisset. Unter dem einen Pol sieht man deutlich einen dunklen Rand.



Fig. 19.

Der Flecken auf dem südlichen Marspol am 10. Juli 1909, beobachtet von Jarry Desloges.

skopischen — Salzen: Chlorcalcium, Chlormagnesium, Chlornatrium. Kommt der Sommer heran und erwärmt sich die Kalotte, so verdunstet der Reif und eine verhältnismäßig feuchte Luft breitet sich in der Nachbarschaft aus.

Dann nimmt man dort oft Nebelbildung wahr. Der Boden am Rande des Polarschnees nimmt dabei eine dunkle Färbung an (Fig. 18). Manchmal treten auch Kanäle und Seen in den Polarkalotten auf, die von den heißen, aus den Rissen aufsteigenden Dünsten erzeugt werden (Fig. 19). Die feuchte Luft zieht über den Salzen hin, diese ziehen das Wasser an und zerfließen zu einer konzentrierten Lösung. Von den Polen kommen immer neue Wasserdunstmengen, die zu dem entgegengesetzten, im Winter liegenden Pol hinüber zu destillieren streben und sich immer näher an den Äquator drängen, den sie schließlich überschreiten. Auf ihrem Wege haben sie allmählich die Salze in den Vertiefungen an den Rissen, aus denen sie kamen, und besonders in den tiefen Senkungen an deren Kreuzungsstellen, verflüssigt, wo die Einsturzzentren, die sogenannten Oasen, liegen. Lowell hat beobachtet, daß die Kanäle sich so vom  $78^{\circ}$  N. bis zum Äquator in 52 Tagen „wässern“.

Diese eigentümliche Erscheinung mit Hilfe der Kanaltheorie zu erklären, ist außerordentlich schwierig. Damit das Wasser vorwärts komme, müßte die Marsoberfläche vollkommen eben, oder mindestens fast eben sein, und die Bewohner müßten dem Schmelzwasser von den Polen her mit Pumpwerken nachhelfen. Die Kanäle sind von verschiedener Breite, nach Lowells Angaben 16 Km. im Durchschnitt, nach Flammarion von 300 bis 60 Km., was gewiß zu viel ist. Derselbe Kanal ist in verschiedenen Jahren verschieden breit, manchmal kann er sogar verschwinden. Bei geringem Zustrom von Wasserdampf zerfließen nur die hygroskopischen Salze in der tiefsten Rinne des Kanals, je mehr Dampf über den Kanal streicht, desto breitere Partien desselben zerfließen durch Wasseranziehung und werden sichtbar, dunkeln. Das gleiche gilt von den Inlandseen, den Oasen. Der Wasserdampf zieht in der Luft weiter und durchfeuchtet den Kanal in seiner ganzen Länge, mag er eben verlaufen oder teilweise ansteigen oder fallen.

Allgemein ist man jetzt der Ansicht, daß das Festland auf dem Mars ein wüstenartiges Klima hat und darum wahrscheinlich, wie die meisten Wüsten auf der Erde, ein Tafelland ist, aus stufenartig übereinander geschichteten Lagen aufgebaut. Die höheren Teile sind vom Winde zu feinem Staub zermahlen worden. Kein Meer lagert auf dem toten Planeten noch Bodenschichten ab. Nur sanft niederregnender kosmischer Staub, in dem Eisen, teils in

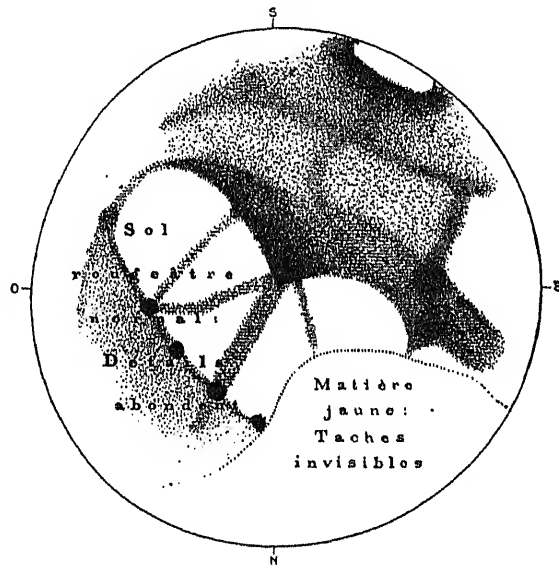


Fig. 20.

Die Erscheinung des Mars nach einer Beobachtung von Antoniadi 1909.  
Die ganze Marsscheibe ist etwas verschleierte. Unten sind  
die Details von Sandwolken verdeckt.

metallischer Form, teils als lichtgrünes Oxydulsalz, enthalten ist, wird ihm noch zugeführt. Auf der Erde hat man in den tiefsten Teilen des Meeres, wo keine Materie von benachbarten Küsten hingeführt wird, ebenfalls große Mengen eisenhaltigen Sediments gefunden, auf dessen meteorischen Ursprung man aus gewissen darin vorkommen-

den Mineralien schließen darf. Der Sauerstoff in der Marsluft führt das Eisen in Oxyd über, das je nach der Feinheit seiner Zerteilung verschiedene Farben hat. Das gewöhnlich vorkommende ist die Oker genannte Farbe. Der Mars wird auch als okerfarbig beschrieben, und Droß ist darum der Ansicht, daß der Boden dort mit Eisenoxyd vermenget ist. Der feinste Eisenoxydstaub ist gelb, größere Kristalle davon haben einen violetten Stich. Oft sieht man auf dem Mars Einzelheiten von einem gelben Schleier überzogen, also von ganz feinem Eisenoxydsand, der vielleicht mit anderem, weniger gefärbtem Sand vermenget ist, den der Wüstenwind über große Flächen hinweht. Eine solche, über große Marsflächen ausgebreitete Staubwolke ist im Herbst 1909 von Antoniadi in Paris beobachtet und beschrieben worden. (Fig. 20.) Vor ihm hatten schon W. H. Pickering und andere derartiges gesehen.

Von der Oberfläche des Mars kann man im allgemeinen nur die zentralen und die polaren Teile wahrnehmen. Äquatoriale Gebiete, die über  $40^{\circ}$  bis  $50^{\circ}$  von dem Punkte abliegen, über dem die Sonne steht, sind in einen dünnen weißen Nebelschleier gehüllt. Sobald die Sonne den Zenith verlassen hat und halbwegs gegen den Horizont herabgesunken ist, fällt die Feuchtigkeit der Luft in den untersten Schichten aus, ein Beweis, daß keine irgendwie bedeutsame Menge wärmeschützender Gase in der Marsluft vorhanden ist. Daß diese Nebel sich nicht bis in die Nähe der Pole erstrecken, deren weiße Kallotten zu jeder Zeit deutlich hervortreten, zeigt, daß die Sonne keine Kraft hat, in diesen Gegenden, wo sie nie besonders hoch am Himmel steht und wo sich ihre Höhe nur wenig ändert, größere Änderungen der Temperatur und damit des Dampfgehaltes zu bewirken. Auch an anderen schneebedeckten Stellen zeigt sich dieselbe Erscheinung, obgleich sie nicht ganz nahe den Polen liegen.

Ist die Zufuhr von Wasserdampf spärlich, so kommen nur die breitesten Kanäle zum Vorschein. Sie er-



scheinen im allgemeinen nicht doppelt, da der eine der Zwillingskanäle stets schwächer hervortritt als der andere. Lowell wollte erkannt haben, daß es stets derselbe Kanal von den beiden parallelen ist, der zuerst hervortritt, und daß dessen Länge sich stets unverändert gleich bleibt. Das ist das Gegenteil von dem, was Schiaparelli früher gesehen zu haben glaubte. Wegen des geringen Wassergehaltes der Luft sind wirkliche Wolken auf dem Mars sehr selten. Fig. 21 zeigt eine solche am Marsrande. Oft sind die erwähnten Nebel als Wolken bezeichnet worden. W. H. Pickering hat dies oft getan.



Fig. 21.  
Eine Wolke rechts oben  
über dem Marsrand; von  
Molesworth am 7. März  
1901 beobachtet.

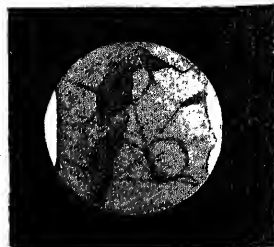


Fig. 22.  
Mars, am 11. Juli 1907 von  
Lowell beobachtet. Auch die  
dunklen Teile erscheinen von  
„Kanälen“ durchschnitten.

Auch Berge scheinen auf dem Mars vorhanden zu sein. Der Schnee oder der Reif bleibt oft an Punkten in der Nähe der Pole, mitunter sogar in großer Entfernung von diesen, liegen — so auf der großen Insel Hellas in  $40^\circ$  s. Br. —, während er in deren Umgebung und mitunter selbst am Pol (dem südlichen) verschwindet. Ein solches eisbedecktes Hochland liegt nahe am südlichen Pol. (Fig. 23, am oberen Rande.) Wo der Schnee liegen bleibt, dürfte auch eine schwache Gletscherbildung stattfinden. Darum glauben die meisten Beobachter, Berge, wenn auch von mäßiger Höhe, auf dem Mars annehmen zu dürfen. Campbell will sogar 3000 m hohe gesehen haben. Lowell, der

an den Rändern der beleuchteten Teile des Mars fleißig nach Bergen gespäht hat, meint, daß, wenn Berge dort vorkommen, sie nicht höher als 600 bis 900 m über der sie umgebenden Ebene sein können. Es ist an und für sich

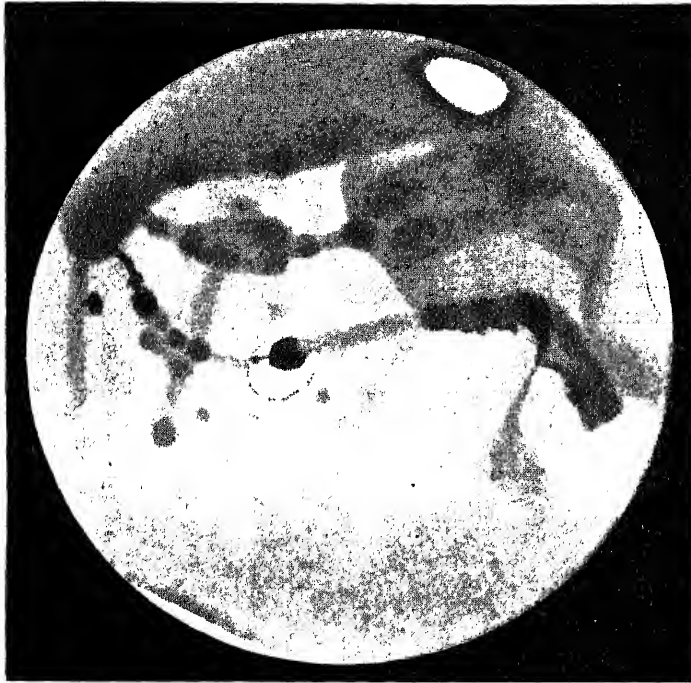


Fig. 23.

Der Mars, am 6. Oktober 1909 beobachtet. Nach E. M. Antoniadi.

unwahrscheinlich, daß alle größeren Unebenheiten auf dem Mars vollständig ausgeglichen sein sollten. Mag die Verwitterung schon seit sehr langen Zeiten vor sich gegangen sein, so ist sie doch seit langem nur schwach, und es fehlte auch an Wässern, die verwitterten Massen in die Täler hinunter zu spülen. Da blieb nur der Wüstenwind, der mit seinem Sande alle Unebenheiten langsam abschleift, aber

Hochebenen kaum angreift. Nimmt man nun nicht an, daß der Mars fast ganz eben ist, was doch schon an sich höchst unwahrscheinlich ist, so bleibt es schwierig, zu verstehen, wie die Kanäle, die, um sich mit Wasser anfüllen zu können, annähernd horizontal liegen müßten, in gerader Linie über Berg und Tal hinlaufen können. Sie müßten sich, wie unsere Flüsse, nach den Höhenverhältnissen des Landes krümmen, selbst wenn sie von Ingenieuren erbaut sein sollten.

Im Winter frieren die Kanäle zu und werden, gleich den Seen oder Oasen in ihren Kreuzungspunkten, unsichtbar. Der rotgelbe, vom Winde über sie hingewehte Staub deckt sie zu. Bevor ein Kanal wieder sichtbar wird, erscheint an seiner Stelle ein dunkelroter Streifen; das ist das feucht gewordene Eisenoxyd. Manchmal kündigt er sein Erscheinen durch einen Nebel an. Offenbar legt sich die kalte neblige Luft ebenso, wie hier auf der Erde, in die Talzüge und feuchtet die Salze auf deren Boden an, worauf der Kanal als dunkler Streifen sichtbar wird. Zuweilen erscheint auch die Umgebung des Kanals verdunkelt, woraus man erkennt, daß auch dort etwas Feuchtigkeit aufgenommen worden ist. An den Rändern des Kanals haben sich die minder hygroskopischen Salze abgelagert. Die grüne Farbe der Kanäle könnte möglicherweise durch Kontrastwirkung gegen die rote Umgebung entstehen. Es kann auch sein, daß sie von feinen, in der Flüssigkeit aufgeschwemmten Staubteilchen herrührt. Es wäre auch denkbar, daß eine Reduktion des Eisenoxyds durch aus den Rissen mit den Dämpfen ausströmenden Schwefelwasserstoff erfolgt. Kleine Mengen können schon große Wirkungen erzielen. F. le Coultre bezeichnet die Färbung als mitunter kohlschwarz.

Ähnlich ist es mit dem Meere. Friert dieses zu, so legt sich der gelbrote Staub darüber und verleiht ihm einen zwischen dem ursprünglichen Dunkelgrün und dem hellen

Rotgelb liegenden Ton. Schmilzt das Eis wieder, so sinkt der Staub unter und das Wasser nimmt die dunkelgrüne Farbe wieder an.

Eine konzentrierte Lösung von Chlorcalcium gefriert bei  $-55^{\circ}$ , eine solche von Chlormagnesium bei  $-44^{\circ}$  und von Kochsalz bei  $-22^{\circ}$ . Ist nun, wie oben angegeben, die mittlere Temperatur auf dem Mars gegen  $-40^{\circ}$ , am Äquator gegen  $-10^{\circ}$  und an den Polen im Hochsommer gegen  $0^{\circ}$ , so ist ein Auftauen an der Oberfläche des Meeres oder in den Kanälen, namentlich dort, wo sich Salze abgesetzt haben, sehr wohl möglich. Man muß bedenken, daß das Eis auf dem Mars still liegt, während es auf der Erde sich fortbewegt. Dadurch kann sich im Laufe von Jahrtausenden Sand und Staub auf dem Grunde der seichten Schmelzwassermassen über dem Polareis des Mars ansammeln. Das Meer erscheint dann trotz seiner geringen Tiefe dunkel, und die noch unaufgelöst gebliebenen weißen Salz- und Eiskristalle können nicht durchscheinen. Selbst im Meere glaubt Lowell Kanäle entdeckt zu haben (Fig. 22). Es ist wohl möglich, daß besonders in den flacheren Teilen des Meeres, das ja einem gefrorenen Kevir gleicht, Risse auftreten, wie im Tyrrhenischen Meere nördlich von Sizilien. Es ist übrigens bezeichnend, daß Flammarion die im ersten Augenblick höchst auffallende Behauptung aufstellt, auf dem Mars gefriere das Wasser bei einer niedrigeren Temperatur als auf der Erde. Das stimmt eben vollkommen für Salzlösungen.

Man führt gewöhnlich die absolut gleichmäßige Breite und Geradlinigkeit der Marskanäle als einen deutlichen Beweis dafür an, daß sie Kunstbauten, Ingenieurarbeit seien. Der italienische Astronom Cerulli hat einer solchen Auffassung kräftig widersprochen. „In den äußerst wenigen Fällen, in denen beide Kanalseiten deutlich sichtbar sind,“ sagt Schiaparelli, „habe ich Einbuchtungen und Vorsprünge an ihnen wahrgenommen.“ Das war 1879 der Fall bei den Kanälen Euftrat und Triton, und 1888 mit Ganges.

Es ist doch klar, daß alle in alten Rissen entstandenen Wasserläufe nicht gleichmäßig breit sein können. Antoniadi hat das durch seine Beobachtungen im Herbst 1909 (vgl. Figg. 16a und 23) bestätigt, ebenso le Coultre, der doppelt so viele unregelmäßige als regelmäßige Kanäle festgestellt hat. Antoniadi sagt, daß einige Kanäle in einer Richtung aneinander gereihte Seen zu sein scheinen, andere seien dünne Linien mit Krümmungen und Einbuchtungen. „Das komplizierte Netz von geraden Linien ist wahrscheinlich eine Einbildung.“ Die Flecke auf dem Mars, sagt er, sind sehr unregelmäßig und „verraten durchaus keine (einfachen) geometrischen Formen.“ Letztere sollten gerade Beweise dafür sein, daß es sich um Leistungen intelligenter Wesen handelt. „Die Erscheinung des Planeten erinnert an den Mond oder an eine irdische, von einem Luftballon aus gesehene Landschaft.“ „Mit einem Wort, die Geometrie des Mars erweist sich als eine Einbildung.“ Ganz besonders lehrreich ist eine Vergleichung der in Mercators Projektion gezeichneten Karte von Schiaparelli (1886) mit der in gleicher Art von Antoniadi (1909) angefertigten. Sie sind beide auf den Tafeln am Schlusse dieses Buches wiedergegeben. Während Schiaparelli die Kanäle meistens als schmale, gerade oder schwach gebogene Bänder von gleichmäßig bleibender Breite darstellt, sind sie bei Antoniadi oft in eine Reihe dunkler Flecke aufgelöst, die durch etwas hellere Partien verbunden sind. (Siehe die Kanäle Nectar und Oero an dem Sonnensee.) Auch bezüglich verschiedener „Meere“ oder „Meerbusen“, besonders des Tyrhenischen Meeres und des Sonnensees (Lacus solis), wie des bekannten Syrtis major, der, wie der Sonnensee, zu den auffallendsten Erscheinungen auf dem Mars gehört, verhält es sich so. Auch dadurch sind die beiden Karten interessant, daß manche Kanäle und andere Gebilde, die auf der einen verzeichnet sind, auf der anderen fehlen, denn es geht daraus die im Vergleich zur Erde große Veränderlichkeit der Marsoberfläche hervor. Vom Mars aus gesehen würde

die Erde in historischer Zeit keine wahrnehmbare Veränderung erkennen lassen; natürlich die mit den Jahreszeiten wechselnde Schneebedeckung ausgenommen. Die entgegengesetzte Eigentümlichkeit des Mars kann man sich nur dadurch erklären, daß die wahrnehmbaren Gebilde nur äußerst dünne Oberflächengebilde sind, die leicht verändert werden.

Manchmal treten plötzlich große, weiße Flecke, besonders in der Nähe der Seen, auf, wie am Phoenixsee (ziemlich in der Mitte der den Mars am 6. Okt. 1909 darstellenden Fig. 23 nach Antoniadi). Diese Flecke verschwinden ebenso plötzlich, wie sie kommen. Ihre Weiße rührt jedenfalls von einem sehr dünnen Schnee- oder Reifüberzug her, die sich in der Nähe von Seen leicht bilden und bei einem warmen Windhauch oder Sonnenstrahl schnell vergehen. Es werden zuweilen auch dunklere Flecke auf dem Mars beschrieben, die bei starker Vergrößerung sich in helle und dunkle Vierecke, wie auf einem Schachbrett, auflösen. Sie erinnern an die Bajirs in Turkestan. (Fig. 8.)

Die an den Rissen auf dem Mars liegenden Seen-Reihen, die uns wie Kanäle erscheinen, sind fortwährend der Wiederversandung und Austrocknung ausgesetzt. Sie leben durch neue, unseren Erdbeben entsprechende Senkungen an den Verwerfungslinien auf, wobei Wasserdampf und andere Gase ausströmen und sich in den niedrigsten Stellen an den Rissen zu Seen verdichten. Die Kanäle erscheinen darum sehr schnell, fast von einem Tag bis zum anderen, um zuweilen ebenso schnell wieder zu verschwinden. Der merkwürdigste Fall von dem Erscheinen eines „neuen“ Kanals ist kürzlich durch eine Mitteilung von Lowell bekannt geworden. Zwei neue Kanäle, zur Zeit der Beobachtung die stärksten auf der Marsfläche, wurden auf dem Flagstaff-observatorium am 30. Sept. 1909 östlich der Syrtis magna wahrgenommen und sogleich photographiert. Sie beruhten also auf keiner Sinnestäuschung. Dagegen trat der große Kanal Amenthes nicht auf der Karte, Fig. 16, hervor. Er liegt etwa  $30^\circ$  östlich (links) von der Syrtis, gerade in der

Gegend, wo der neue Kanal wahrgenommen wurde. Auch zwei neue „Oasen“, auf welche die ein wenig gekrümmten neuen Kanäle zuliefen, sowie einige kleinere Kanäle wurden hierbei zum ersten Male beobachtet.

Es müssen also eine oder vielleicht mehrere starke Erschütterungen, mit den beiden neuen Oasen als Einsturzzentren, östlich von Syrtis major, gerade vor dem 30. Sept. 1909 stattgefunden haben. Die Risse daselbst wären wahrscheinlich schon früher gefunden worden, wenn sie nicht versandet gewesen wären. Durch den ausströmenden Wasserdampf, der sich in der kalten Marsluft zu Wasser verdichtete, sind sie von neuem sichtbar gemacht worden.

1913 wurde auf dem Lowellobservatorium der Doppelkanal Aethiops (auf der Karte, Fig. 16, unter dem 240. Längengrade als einfacher gezeichnet) wieder entdeckt, der seit 15 Jahren verschwunden gewesen war.

Dieses plötzliche Auftreten und Verschwinden großer Kanäle beweist aufs deutlichste, daß sie keine großartigen Ingenieurleistungen sind, die auf der Erde auszuführen Jahrhunderte erfordern würden.

Der Glaube an eine intelligente Bevölkerung auf dem Mars ist sehr verbreitet. In diesem Glauben kann man alles „erklären“, besonders, wenn man annimmt, daß die Intelligenz dieser Wesen die unsrige weit übertrifft, so daß wir die Weisheit der Pläne, nach denen sie die Kanäle angelegt haben, nicht zu fassen vermögen. Die Kreuzungspunkte der Kanäle sollen Städte sein (Lowell), 50 mal so groß als London. Mit solcher Erklärung kann man alles erklären und erklärt dann nichts. Wollen wir die Erscheinungen auf dem Mars verstehen, müssen wir vor allem uns von dem in früheren Jahrhunderten hoch gehaltenen Zweckmäßigkeitsprinzip frei halten, das so manchen hochstehenden Mann der Wissenschaft zu lächerlichen Schlüssen verführt. Um zu verstehen, brauchen wir nicht, wie Flammarion, unsere Zuflucht zu noch unbekannten Naturkräften

zu nehmen, so sehr das auch von den Mystikern gebilligt werden würde. Nur auf die Naturkräfte, mit denen wir vertraut sind, können wir bauen, wenn wir die Natur begreifen wollen, und nur so werden wir auch in den Erforschungen des Mars weiter fortschreiten können.

---



## Kapitel VII.

### Merkur, Mond und Venus.

Der Planet Merkur gleicht in mancher Hinsicht dem Mars, unterscheidet sich jedoch wesentlich von ihm durch den gänzlichen Mangel einer Atmosphäre. Die Risse in den Rinden des Erd- oder des Marskörpers werden sehr bald verfüllt. Lehm oder Sand werden durch fließende Wässer hineingeschwemmt oder von Winden hineingeweht. Die Umrisse der Spalten verwischen sich und nur Erschütterungen des Bodens und Ausströmungen mannigfacher Art lassen deren Vorhandensein und Verlauf erkennen. Auf dem Merkur bleiben sie als offene Klüfte bestehen. Es treten dort, gleich wie auf der Erde, reduzierende Gase aus ihnen aus und verleihen der Umgebung eine dunklere Färbung, als sie dem übrigen uns sichtbaren Teile der Planetenoberfläche eigen ist. (Wir sehen nur die der Sonne stetig zugewandte Seite des Merkur.) Dämpfe, die sich infolge ihrer Schwerflüchtigkeit in der Tiefe der Erdspalten absetzen, wie Salmiak, andere Chloride und Schwefel, treten aus den Merkurspalten ins Freie, schlagen sich auf weiten Flächen nieder und färben sie dunkler. Die Schwefeldämpfe erzeugen mit den Eisensalzen schwarze Verbindungen. Lowell verdanken wir Abbildungen der dunklen, auf dem Merkur wahrnehmbaren Flecken; eine derselben ist in Fig. 24 wiedergegeben. Diese Flecke liegen, ebenso wie die von Antoniadi in seine Marskarte eingezeichneten (Fig. 16a), in fast geraden oder in schwach

gekrümmten Linien aneinandergereiht. Sie scheinen also die unmittelbaren Begleiter unglaublich großer Risse zu sein. Die Merkurrisse sind, nach Lowells Zeichnung zu urteilen, weit regelmäßiger verteilt als die Marsrisse. Fast in der Mitte der beständig von der Sonne beleuchteten Merkurhälfte sehen wir einen dunklen Fleck, einen „See“. Dieser Fleck liegt also an der allerheißesten Stelle der Merkuroberfläche. Das ist ein wichtiger Fingerzeig, denn wir können uns daraus folgendes Bild machen. Die heißeste Stelle auf dem Merkur ist aller Wahrscheinlichkeit nach diejenige an dessen Oberfläche gewesen, die sich am spätesten mit einer festen Kruste bedeckte. Der Merkur hat wahrscheinlich schon sehr früh die Drehung um seine Achse verloren und schon begonnen, ein und dieselbe Seite beständig der Sonne zuzuwenden, als seine Oberfläche noch fließende Lava war, wenigstens noch dort, wo er am stärksten von der Sonne bestrahlt wurde. Hier war also der schwächste Punkt seiner Rinde. Erfolgt später Einstürze, so gingen sie von diesem schwächsten Punkte aus. Man sieht auch auf dem Bilde, daß nicht weniger als sechs Risse von dieser zentralen Stelle ausstrahlen. Wo die Schollen von entfernteren festen Teilen abbrachen, entstanden andere Risse, aber diese zeigen keinen so geradlinigen Verlauf wie die vom Einsturzmittelpunkt auslaufenden. An den Rissen treten nun reduzierende Gase aus dem Planeteninnern aus und färben die oberen, wahrscheinlich größtenteils aus eisenhaltigem Weltenstaub bestehenden Schichten dunkel. Auf dem Merkur wird der Staub sehr reichlich fallen, weil er in der Nähe der Sonne infolge der stärkeren Schwerkraft in größerer Menge vorhanden ist als weiter ab von derselben. Die Entfernung des Merkur von der Sonne ist nur ein Fünftel von derjenigen der Erde und ein Zwölftel von der des Mars. Es sind vermutlich auch auf dem Merkur hohe Berge, wie auf dem Mond, vorhanden, die weder von fließendem Wasser, noch von Sandstürmen abgefeilt worden sind. Wir können sie aber

von der Erde aus nicht sehen. Die von mehreren Beobachtern, wie Schröter, Vogel und anderen, wahrgenommenen, weit ausgedehnten Flecke auf dem Merkur sind möglicherweise ähnliche Gebilde wie die „Meere“ auf dem Monde. Vogel glaubte Spuren von Wasserdampf auf dem Merkur wie auch auf dem Mars bemerkt zu haben, was jedenfalls in beiden Fällen auf ungenügenden Beobachtungsmitteln beruhte.

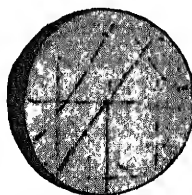


Fig. 24.  
Der Merkur mit seinen „Kanälen“.  
Zeichnung von Lowell.

Der der Sonne abgewandte Teil des Merkur muß infolge der Ausstrahlung nach dem Weltenraume außerordentlich kalt sein. Die Temperatur muß dort mehr als  $200^{\circ}$  unter dem Gefrierpunkt des Wassers liegen. Selbst die konzentriertesten Salzlösungen, die wir kennen, erstarren schon hoch über dieser Temperatur unter Salzausscheidung zu Eis. Darum kann wohl keine irgendwie geartete Flüssigkeit auf dieser Seite vorkommen. Aber auch auf der Sonnenseite kann keine Feuchtigkeit bestehen, weil sie nach der kalten Seite hinüber verdunsten muß. Der wüstenartige Zustand muß darum auf dem Merkur noch weit größer sein als auf dem Mars und Veränderungen auf der Oberfläche infolge von Temperaturwechsel sind gänzlich ausgeschlossen. Infolge der sogenannten Librationen treten wohl gewisse Abschnitte an der Grenze des beleuchteten Teiles zuweilen aus dem Dunkel in den Sonnenschein hervor; aber auch diese verlieren während der Zeit, in der sie der Hitze ausgesetzt sind, jede Spur ihrer Feuchtigkeit.

Nicht ganz so unveränderlich in meteorologischer Hin-

sicht wie der Merkur ist der Erde Mond, obwohl er ihm, im ganzen genommen, gleicht. Wie jener der Sonne, so kehrt dieser der Erde beständig, mit einer kleinen Libration, ein und dieselbe Seite zu. So hat jeder Punkt auf dem Monde einen halben synodischen Monat (von 29,53 Tagen) Tag und einen halben Monat Nacht. Diese lange Zeit genügt, daß die Temperaturen einerseits in ihrer Höhe der vollen Sonnenbestrahlung und anderseits in der Tiefe der vollen nächtlichen Abkühlung gegen den Weltenraum nahezu entsprechen.

Einige Beobachter, darunter W. H. Pickering, behaupten, daß die eben aus dem Schatten hervortretenden Teile des Mondes eine hellere Färbung hätten, als nachdem sie eine Weile beleuchtet worden waren, und Pickering glaubte, das käme von Schnee oder Reif her, die sich dort in der 355 Stunden langen Nacht angesammelt hätten. Das ist wohl sehr unwahrscheinlich. Wäre eine merkliche Spur von Wasserdampf auf dem Monde, so müßten sich doch an den Polen weiße Kappen bilden, weil dort die Sonnenwärme nicht hinreicht, das Eis zu schmelzen. Von solchen weißen Kappen hat man jedoch nicht das mindeste wahrgenommen, und der Glaube an Schnee auf dem Monde hat darum wohl kaum noch einen Verteidiger.

Die Berge auf dem Monde sind weder von Wasser oder von Sandstürmen angegriffen noch durch rasche Erhitzung in der Sonne zersplittert worden. Sie stehen in ihrer ganzen ursprünglichen Höhe über der Umgebung. Aus der Länge ihrer Schatten kann man die Höhe berechnen. Mädler fand so die Höhe eines Zackens des Berges Newton 7300 m über der Fläche, auf die der Schatten fiel, sechs andere Spitzen zwischen 6000 m und 7000 m, 21 zwischen 5000 m und 6000 m und 82 zwischen 4000 m und 5000 m, endlich 582 2000 m oder mehr über der Umgebung. Daraus sieht man, wie außerordentlich hoch die Berge auf der Mondoberfläche im Vergleich mit denen auf der 13mal so großen Erdoberfläche sind.

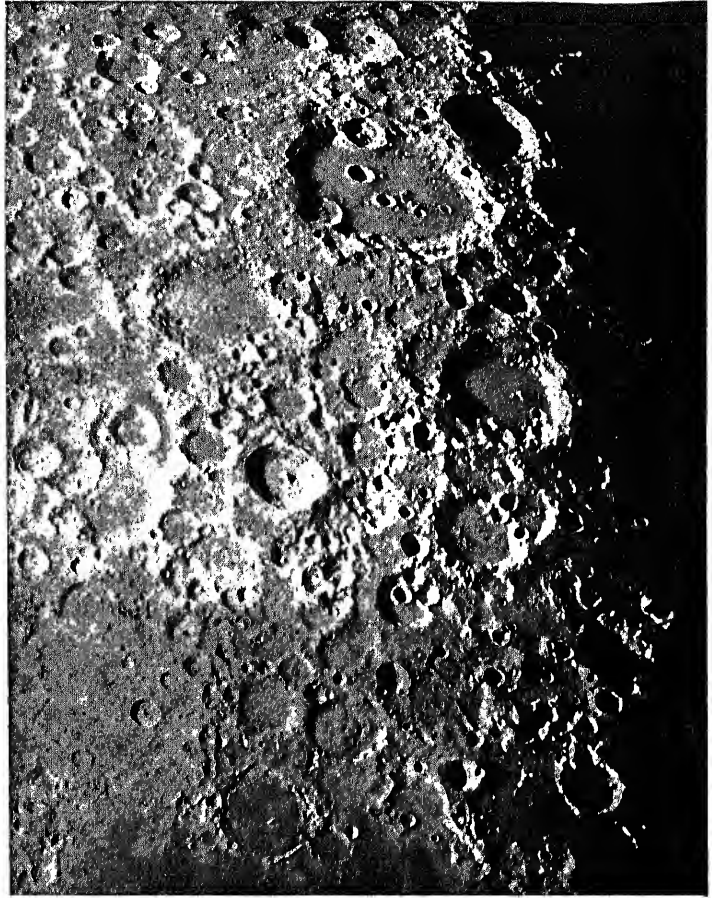


Fig. 25.

Ein Teil des Mondes in der Nähe des Südpols. Der große Krater oben, der Innen sowohl wie auf der Umwallung eine große Zahl kleiner Krater zeigt, ist der Clavius. Etwas unterwärts, rechts, liegt der Longomontanus, dicht am Rande des Schattens; ziemlich in der Mitte des Bildes, 3,5 cm vom linken Rande, sieht man den Tycho mit seinem zentralen Kegel. Monddurchmesser entspr. 43.4 cm. Photogr. Yerkes-Sternwarte in Nordamerika.

Fig. 25 zeigt eine der vulkanreichsten Gegenden auf dem Monde mit dem Berge Tycho in der Mitte und darüber den Clavius.

Das Charakteristischste auf dem Monde sind die zahl-

reichen Vulkane. Es gibt solche von einer Größe bis zu 200 Km. Durchmesser, wie den mächtigen Clavius mit seinen Nebenkratern, bis herunter zu solchen, die kaum noch mit dem Fernrohr wahrgenommen werden können. Die größten übertreffen weit unsere größten Vulkane und unterscheiden sich von diesen durch den nahezu flachen, zuweilen mit einigen kleineren Vulkankegeln besetzten Kratergrund. (Siehe Fig. 25, den Krater Longomontanus rechts vom Tycho.) Sie sind von einem hohen, innen oft sehr steilen, außen abschüssigen Ringwall umgeben, wie der Clavius, Longomontanus und Tycho. Die größten, z. B. den Clavius, könnte man mit einem rings von Bergen umgebenen Lande, wie Böhmen, vergleichen. Auf dem Ringwall des Clavius und innerhalb des letzteren sind noch zahlreiche größere und kleinere Krater. Die kleinsten erscheinen wie halbkugelförmige Aushöhlungen in der Mondrinde, oder es sind kleine, den Ringwall durchbrechende, oder auch an Rissen auf dem Kratergrunde wie Perlen aneinandergereihete Kegel.

Diese Vulkane haben sämtlich große Gasmengen aus dem Mondmagma nach außen befördert. Diese Gase werden zum großen Teil aus Wasserdampf bestanden haben. Hätte letzterer sich zu Wasser verdichtet, so wären Meere und Flüsse entstanden und hätten die von den Bergen heruntergeschwemmten Massen als Sedimente auf dem Meeresgrunde abgesetzt. Das war aber nicht der Fall. Die sogenannten „Meere“ auf dem Monde (man vergleiche Fig. 26 mit dem Mare Serenitatis unten und Mare Tranquillitatis oberwärts links, sowie Fig. 28 mit dem Mare Imbrium unten, rechts von den „Karpaten“ begrenzt) haben sicherlich eine tiefere Lage als ihre Umgebung, aber sie haben eine zum größten Teil glatte Oberfläche und sind mit keinem losen Sediment überzogen, das mehr Licht zurückwerfen würde als das glasartige vulkanische Gestein, aus dem sie bestehen. Die „Meere“ auf dem Monde sind viel dunkler als ihre

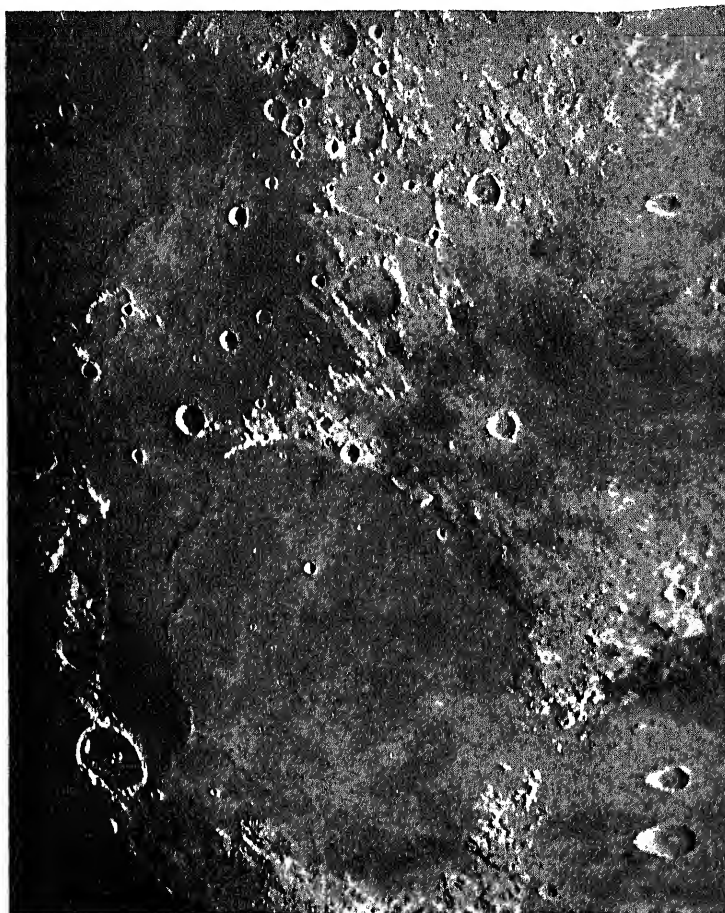


Fig. 26.

Unten das Mare Serenitatis, darüber links das Mare Tranquillitatis mit ihren Umgebungen. Links vom Mare Serenitatis der große Krater Posidonius. 2,8 cm vom unteren und 3,3 cm vom rechten Rande erscheint ein kleiner, weißer Fleck. Das ist der merkwürdige Krater Linus, von dem behauptet wird, daß er sich verändert habe. Der Mondurchmesser entspricht 35,7 cm. Phot. d. Yerkes-Sternwarte Nordamerika.

Umgebung und das beweist, daß eigentliche Meere oder Wasseransammlungen wohl niemals auf der jetzigen Mondoberfläche vorhanden gewesen sind. Schon zur Zeit, als die Oberfläche des Mondes noch schmelzflüssig war,

hatte der Wasserdampf sich aus dessen Atmosphäre verflüchtigt, und was davon aus dem Innern noch hinaufgeführt wurde, verschwand so schnell, daß keine Seenbildung zustande kommen konnte. Auch mit den anderen Luftgasen hat es sich so verhalten. Der Mond hat also, nach allem zu urteilen, niemals Leben auf seiner unebenen Oberfläche getragen. Wie aus Fig. 26 hervorzugehen scheint, sind die „Meeresgründe“ nicht frei von Vulkanen. Sie sind auch voller, den Bergketten auf der Erde entsprechenden Falten. Sie sind Spuren alter Spalten in einer noch sehr dünnen Rinde. Rechts, im Mare Serenitatis, sieht man einige weiße Flecke, die W. H. Pickering für Schnee hielt. Der größte davon ist der viel besprochene „Krater“ (?) Linné. Das Mare Serenitatis ist von einer Art Ringwall von Vulkanen umgeben.

Ein bekannter Astronom, Cerulli, hat, als er ein mäßig vergrößerndes Fernrohr nach dem Monde richtete, bemerkt, daß die Flecke auf demselben sich in Reihen anordneten und ein System von Linien hervortrat, wie das Kanalsystem auf dem Mars. Weil diese Regelmäßigkeit bei stärkerer Vergrößerung nicht mehr hervortrat, meinte Cerulli, daß sich die Kanäle auf dem Mars in kleinere Flecke auflösen würden, wenn man Fernrohre mit genügender Vergrößerung anwenden würde. Diese, zum Teil bestätigte Ansicht ist von dem Engländer Maunder in letzterer Zeit wieder aufgenommen worden, der die Existenz der Marskanäle bestreitet, obwohl dieselbe durch die Photographie bezeugt ist.

Aber es zeigen sich auch, abgesehen von diesen scheinbaren Linien, zahlreiche Gebilde von fast geradliniger Gestaltung. Hierher gehören vor allen Dingen die Rinnen, lange Gräben, an deren Seiten oft kleinere Vulkane stehen. Fig. 26 zeigt rechts oben einige derartige Gräben. Mitten in dem rechten sieht man den kleinen Vulkan Hyginus. An seinem linken Arm stehen weitere sechs und an dem rechten zwei kleine Vulkane; diese sind auf dem Bilde nicht sichtbar. Die zweite, die „Ariadaeus-Rinne“, beginnt links



in dem auf dem Bilde nicht sichtbaren Vulkan Ariadaeus. Man kann sich diese Rinnen dadurch entstanden denken, daß die neugebildete Außenrinde des Mondes sich über den inneren heißen Massen ungleichmäßig zusammengezogen hat, etwa wie die Glasur auf dem Porzellan, und dabei rissig geworden ist. Gleich den beiden genannten Rinnen, links von ihnen, endigen die meisten anderen oft an kleinen Kratern, also an schwachen Stellen in der Rinde. Die Risse bildeten ihrerseits wieder verschwächte Stellen in der Rinde und gaben Anlaß zu Vulkanbildungen an ihren Seiten. An verschiedenen Stellen des Mondes, besonders in den äquatorialen Gegenden, glaubte man neue Rinnen und mitunter auch kleine Vulkane, „die man unmöglich früher hätte übersehen können, wenn sie vorhanden gewesen wären“, gefunden zu haben. Indessen ist man doch ziemlich allgemein der Ansicht, daß derartige Veränderungen sehr unwahrscheinlich sind. Möglicherweise können diese Gebilde nur bei einer besonders günstigen Beleuchtung wahrgenommen werden und darum bei minder günstigem Lichte der Aufmerksamkeit entgangen sein.

Die eigentümlichsten Gebilde auf dem Monde sind die sogenannten „Strahlen“. Sie gehen meistens geradlinig von einigen der größeren Krater, besonders vom Tycho und vom Kopernikus aus. Die vom Tycho ausgehenden — Fig. 27 — scheinen sich nicht in nennenswertem Maße über ihre Umgebung zu erheben oder sich darunter zu senken. Darum sind sie bei schräg einfallendem Lichte nicht wahrnehmbar — Fig. 25 —. Sie verlaufen in gerader Linie, ohne Rücksicht auf die Höhenverhältnisse. Sie zeigen in dieser Beziehung eine gewisse Ähnlichkeit mit den Marskanälen und den Rissen auf der Erde, z. B. denen, die in gerader Linie durch die Tiefen des Tyrrhenischen Meeres und über die Bergmassen Kalabriens hinziehen. Nasmyth und Carpenter sprengten unter Druck eine mit Wasser gefüllte Glaskugel an einem Punkte und erhielten so ein von diesem Punkte ausgehendes Strahlensystem, das lebhaft an

die Strahlensysteme der Mondkrater erinnerte. Ein ähnliches Bild erhält man, wenn man eine Glasscheibe an einem Punkte einstößt. Die von den Strahlen umgebenen Krater

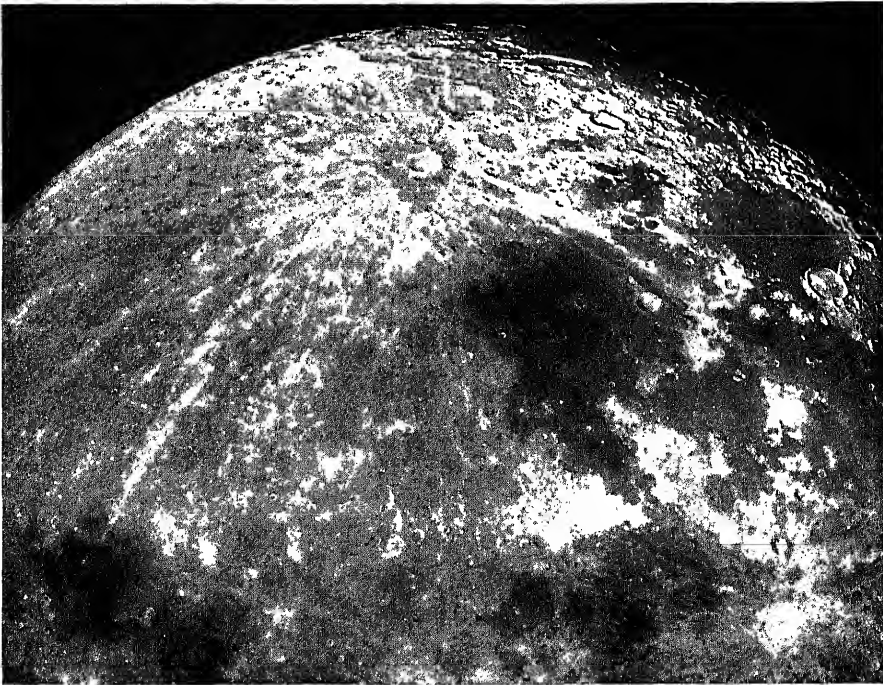


Fig. 27.

Tycho in voller Beleuchtung, von seinem großartigen Strahlensystem umgeben: Nach unten zu, in der rechten Ecke, sieht man Kopernikus mit einem weniger regelmäßigen Strahlensystem. Dazwischen liegt das Mare Nubium, darüber am rechten Rande das Mare Humorum mit dem großen Krater Gassendi darunter. Der Mond Durchmesser entspricht 16,7 cm. Phot. der Yerkes-Sternwarte in Nordamerika. Vergl. Fig. 25 und 26, die Teile derselben Mondpartie in Seitenbeleuchtung geben.

sind ohne Zweifel ursprünglich Einsturzstellen gewesen, wenn sie auch jetzt bisweilen sehr hoch liegen, wie beispielsweise Tycho. Es kann eine sekulare Bodenerhebung stattgefunden haben, gleich etwa der langsamen Hebung Skandinaviens. Die Strahlen um Kopernikus — Fig. 28 — sind ganz anders als die um Tycho. Sie sind nicht gerad-

linig und bilden in der Nähe des Kraters deutliche, bei schräger Beleuchtung gut sichtbare Bergketten. Die Strah-



Fig. 28.

Der große, von Strahlen umgebene Mondkrater Kopernikus. Darunter sieht man die Bergkette der Karpaten und weiter unten einen Teil des Mare Imbrium. Monddurchmesser entspricht 55 cm. Phot. Yerkes-Sternwarte in Nordamerika. (Vergl. auch „Werden der Welten“, Seite 72.)

len dringen quer durch die „Karpaten“ in das Mare Imbrium ein. Häufig tragen sie, wie z. B. der niederwärts,

d. h. nördlich, verlaufende, kleine Vulkane. Sie sind augenscheinlich vulkanische Risse, denjenigen auf der Erde ähnlich.

Die Strahlen würden vielfach (z. B. rund um Tycho) gar nicht sichtbar sein, wenn sie nicht viel heller von Farbe wären als ihre Umgebung. Man kann sich diese Erscheinung so erklären, daß man annimmt, die Spalten seien mit einem hellen aus dem Mondinnern dringenden Stoffe, mit Mondmagma, ausgefüllt worden. Es war ein sehr leichtflüssiges Magma, denn es hat sich beträchtlich über die ursprünglichen Ränder der Risse verbreitet, die vermutlich, wie die Erdrisse, eine sehr mäßige, von der Erde aus nicht wahrnehmbare Breite hatten. Ähnliche mit leichtflüssigem Stoff ausgefüllte lange Spalten kennt man auch auf der Erde, z. B. vom Ausbruch des Laki auf Island, 1783, her. Die Farbe der „Strahlen“ kann vielleicht darum heller sein, weil das später ausgeflossene, die Spalten ausfüllende Magma ein Gestein von anderem Reflexionsvermögen ergeben hat als das ältere, das zu der Mondrinde erstarrt war. Das letztere gleicht in dieser Hinsicht dem Obsidian oder noch mehr einer anderen vulkanischen Bergart, dem Vitrophyr. Es wäre auch denkbar, daß die Lava in den Spalten von vielen Gasblasen durchsetzt ist und davon einen milchigen Schein bekommen hat. Auf dem Monde ist die Schwerkraft nur ein Sechstel von derjenigen auf der Erde und der Luftdruck äußerst gering. Demzufolge stiegen die Gasblasen langsam auf und schieden sich sehr allmählich aus dem Lava aus. Wegen des geringen Luftdruckes nahmen sie auch einen sehr großen Raum ein. Es konnte dann der helle Schaum, der so entstanden war, als solcher erstarren und, wie alle anderen Gebilde auf dem Monde, unverändert sich erhalten haben. Auf der Erde wäre ein solcher erstarrter Schaum sehr schnell vom Wasser und Sand hinweggescheuert worden.

Bevor wir die Betrachtung des Mondes schließen, müssen wir noch einiges über seine Farbe erwähnen. Mäd-

ler behauptet, in Übereinstimmung mit mehreren anderen Beobachtern, daß das Mare Serenitatis, ein „Meer“ auf der Nordseite des Mondes unter dem 25. Breitengrade dicht rechts an der Mittellinie in Fig. 26 . . . sich durch eine reine, schön grüne Farbe auszeichne, während das Mare Crisium, unter etwa 16° N. Br., nahe an dem rechten Mondrande eine zwischen grau und dunkelgrün liegende Färbung habe. Im Mare Humorum, 22° S. Br., nicht weit vom linken Mondrande (s. Fig. 27), kommen graue und dunkelgrüne Töne dicht nebeneinander vor, und das Mare Frigoris, gleich innerhalb des Nordpols des Mondes, sei schmutzig-gelbgrün. Kurzum, die großen erstarrten Lava-seen seien durch eine grüne Färbung ausgezeichnet. Das würde den Verhältnissen auf der Erde entsprechen, wo die Färbung der ähnlichen Gebilde, der „Grünsteine“, von den in ihnen enthaltenen grünen Ferrosilikaten erzeugt wird. Die Richtigkeit der Mädlerschen Beobachtungen wird indessen von Franz angezweifelt. Nach ihm wären viele helle Krater bläulich, und er glaubt, daß dies nur eine Kontrastwirkung gegen den allgemein gelben Ton des Mondes sei. Langley, der gleichzeitig die Mondfarbe spektroskopisch untersuchte, fand, daß die blauen Töne im Vergleich mit den gelben im Mondlicht schwächer vertreten seien als im Sonnenlicht und die allgemeine Farbe des Mondes derjenigen des gelben Sandsteins gliche.

Eine höchst interessante Beobachtung ist in Lowell-Sternwarte gemacht worden. Dort wurde das von der Erde auf den unberechneten Teil des Mondes geworfene schwache Sonnenlicht spektroskopisch untersucht. Es zeigte sich, daß dieses viel mehr ins Blaue zog als das von dem Monde zurückgeworfene direkte Sonnenlicht. Daraus ist zu schließen, daß die Erde in einem blauen Schimmer strahlt, was ja ganz begreiflich ist. Das zur Erde gelangende, von in der Luft schwebenden Partikeln, sowie auch von den Gasmolekülen zurückgeworfene diffuse Himmelslicht ist tief blau. Darum muß das von denselben Partikeln zum Him-

mel geworfene Licht ebenfalls blau sein. So ist die Erde ein blauer Stern neben dem wegen seiner rostigen Wüstenflächen roten Mars und der klaren, weißen Venus. Die Wolkenregionen um den Äquator und die Pole müssen nach außen hin hellblau und durch dunkelblaue Bänder von den sogenannten Rossbreiten, unter denen die wolkenfreien Wüstengürtel jederseits des Äquators liegen, abgegrenzt sein.

Der Mond ist eine noch schlimmere Wüste als der Mars. Auf dem Mars werden wir wenigstens manche geringe Veränderung gewahr. Wir sehen die weißen Polkappen zur Mittsommerszeit verschwinden, wobei ein dunkler Rand sie zu umgeben scheint. Dann treten die Seen und Kanäle auf; zuerst neben diesem Rande, dann immer weiter weg, bis zum Äquator, und endlich über diesen hinaus, während über den andern Pol das Wintergewand sich zu legen beginnt. Wir sehen weiße Flecke in der Nähe der Seen plötzlich erscheinen und ebenso plötzlich wieder verschwinden. Wir beobachten die Wirkung von Sandstürmen, die den Mars verhüllen und oft die Kanäle wieder versanden. Die Schnelligkeit, mit der diese Veränderungen vor sich gehen, zeigen, daß wir es mit Erscheinungen in einer äußerst dünnen Schicht zu tun haben. Dagegen zeigt das Hervortreten viele Jahre lang verborgen gewesener Kanäle, daß immer noch eine, wenn auch schwache vulkanische Tätigkeit in den Tiefen des Planeten lebendig ist und sich bis an dessen Oberfläche fühlbar macht. Eine verkümmerte Vegetation niedriger Formen an den Polen ist nicht ganz undenkbar.

Der Mond hingegen ist, abgesehen von der wechselnden Beleuchtung und der davon folgenden Erwärmung, ein unveränderlicher Weltkörper. Er ist wahrscheinlich noch nicht ganz bis zum Mittelpunkt erstarrt und darum ist eine langsame Weiterverdickung seiner Rinde noch wahrscheinlich. Hierbei werden noch Gase frei werden, aber sie werden den sie umschließenden dicken Panzer nicht durch-

brechen können und als Blasen in dem erstarrenden Magma verbleiben.

Auf der Mondoberfläche hat man keine Veränderungen mit Sicherheit wahrnehmen können. Zwar hat Wm. Herschel, der ja ein ausgezeichnete Beobachter war, im Jahre 1783 geglaubt, einige Berge gefunden zu haben, die vorher nicht dagewesen wären, und auch Schröter, der den Mond fleißig beobachtete, glaubte viele Veränderungen nachgewiesen zu haben; aber gewissenhafte Kritiker bezweifelten die Richtigkeit dieser Entdeckungen. Nachdem Mädlers großes Werk über den Mond 1837 erschienen war, gewann die Überzeugung festen Boden, daß der Mond ein unveränderlicher Körper ist. Trotzdem haben Schmidt in Athen 1866 und in letzter Zeit W. H. Pickering in Cambridge in Nordamerika behauptet, große Veränderungen auf dem Monde gesehen zu haben. Der erstere meinte, der Krater Linné wäre verschwunden, seit Mädlers Arbeiten erschienen waren. Mädler selbst aber sagte 1867, der Krater wäre noch so wie vorher. W. H. Pickering wollte periodische Veränderungen wahrgenommen haben, die durch „Schnee“ und „Vegetation“ entstünden. (Vgl. Fig. 26, die aus Pickerings Mondatlas entnommen ist.)

Nähere Untersuchungen haben inzwischen es wahrscheinlich gemacht, daß es sich um scheinbare, durch verschiedene Beleuchtung und ungleiche Verhältnisse während der Beobachtung vorgetäuschte Veränderungen gehandelt hat. Die Sichtbarkeit der verschiedenen Dinge auf unserem Trabanten hängt in hohem Grade von diesen Bedingungen ab. Seit etwas mehr als einem Vierteljahrhundert wird die Photographie als objektives Hilfsmittel zu den Monduntersuchungen herbeigezogen. Während dieser Zeit, die zwar nicht besonders lang ist, hat man auf den Platten kein deutliches Zeichen von eingetretenen Veränderungen entdecken können.

Der große Unterschied zwischen Mars und Mond besteht in der Anwesenheit einer Atmosphäre auf dem erste-

ren. Wahrscheinlich wird der Sauerstoff auf dem Mars bei der Verwitterung verbraucht werden und allmählich verschwinden. Stickstoff jedoch, Argon und die anderen Edelgase werden übrig bleiben, wie auch der Wasserdampf, der stets von den Wasser- oder Eis-Flächen, die besonders um den Südpol herum vorkommen, abdampfen wird. Auch der Wasserdampf wird allmählich mit sinkender Temperatur dahinschwinden, und wenn diese einst unter den Gefrierpunkt der Salzlösungen gesunken sein wird, werden die Kanäle und Seen zu Ende sein. Diese werden dann nicht mehr auftauen oder feucht werden, wenn kein Wasserdampf über ihnen von dem warmen Pol zu dem kalten hinüber destilliert. Nur Sandstürme und -nebel und die durch sie verursachten Wechsel in den Farben auf dem Planeten werden noch wahrgenommen werden.

Wollen wir uns das zukünftige Schicksal unserer Erde vorstellen, so haben wir das Vorbild im Mars und nicht im Monde zu suchen. Die Sonne wird erkalten, ihre Kraft wird schwinden, und damit wird die Erde in Finsternis und Kälte versinken. Allmählich beginnen die Meere zuzufrieren, um schließlich bis auf den Grund zu Eis zu erstarren. Die Niederschläge werden immer geringer, zuletzt werden nur leichte Schneefälle einige Abwechslung bringen, und die ganze Erde, so weit das Festland reicht, wird zu einer einzigen Sandwüste. Die Spalten treten, von aus dem Innern hervorströmenden Gasen verfärbt, als dunkle Streifen hervor. Wird die Temperatur am Äquator unter den Gefrierpunkt gesunken sein, so wird nur noch an den Polen die dünne Reifdecke im Hochsommer auftauen und den letzten schwachen Organismen nach einem sehr langen Winterschlaf ein hartes Leben ermöglichen. Schließlich wird auch dort der letzte Rest von Leben verschwinden und nur die Sandstürme werden, neben den letzten Ausdünstungen aus dem Erdinnern an den Bruchlinien der Erdkruste, noch einigen Wechsel in die öde Eintönigkeit bringen. Niederfallender meteorischer Staub,



der jetzt nur auf dem Meeresgrund ungestört liegen bleibt, wird nach und nach die ganze Erde mit einem durch die Oxydation seines Eisengehaltes ziegelrot sich färbenden Mantel bedecken. Wird der Sauerstoff aufgebraucht sein, so wird sich das Graugrün des unveränderten Staubes als der Erde Leichentuch darüber breiten.

Ganz anders ist es auf dem uns sowie der Sonne näher liegenden Planeten, der strahlenden Venus, die sich von jeher der Aufmerksamkeit der Menschen erfreut hat. Die dort herrschende Temperatur berechnet sich auf  $47^{\circ}$  im Mittel, unter der Annahme, daß die Sonnenkonstante zwei Kalorien für den  $\text{cm}^2$  und Minute beträgt. Die Feuchtigkeit wird wohl sechsmal so stark sein als im Durchschnitt auf der Erde, dreimal so stark als am Kongo, mit einer mittleren Temperatur von  $26^{\circ}$ . In einer Erhebung von 5 Km. ist die Luft auf der Venus ungefähr noch so feucht wie unsere am Erdboden. Es läßt sich darum leicht denken, daß dort alles von Nässe trieft, die Regengüsse brauchen jedoch nicht viel mehr Wasser herabzubringen als bei uns. Die Bewölkung ist ungeheuer; dicke Regenwolken gehen noch in einer Höhe von 10 Km. Die Sonnenwärme erreicht nicht den Boden der Venus; sie wird von den dichten Wolken aufgefangen. Die starken Luftströmungen, die dadurch in der Atmosphäre entstehen, treiben den Wasserdampf in große Höhen, wo sich neue Wolken bilden. Infolge dieser Wolkenbildung können an der Venusoberfläche horizontale Winde nur schwer entstehen. Da herrscht beinahe Windstille, denn dorthin lassen die Wolken fast keinen direkten Sonnenstrahl gelangen und es fehlt dadurch der Anlaß zu vertikalen Strömungen, während die Reibung und die gleichmäßige Temperatur an der Oberfläche horizontalen Winden hinderlich ist.

Bei der hohen Temperatur auf der Venus vollziehen sich dort alle Veränderungen sehr schnell, fast achtmal so schnell als auf der Erde. Die Produkte der Verwitterung werden von den heftigen Regengüssen schnelligst in die

Täler und in die Meere an den Flußmündungen getragen, weshalb wohl ein sehr großer Teil der Venusoberfläche von Sümpfen eingenommen ist, und die Zustände dort so sein mögen, wie zur Steinkohlenzeit auf der Erde, nur daß es etwa  $30^{\circ}$  wärmer ist. Kein Staub erhebt sich in die Luft, ihr eine kräftige Färbung verleihend. Nur der blendend weiße Glanz des von den Wolken zurückgestrahlten Lichtes dringt in den Weltenraum hinaus und gibt dem Planeten seine leuchtende Weiße. Die starken Strömungen in den höheren Luftschichten gleichen die Wärmeunterschiede zwischen Pol und Äquator fast vollkommen aus. Es herrscht ein gleichförmiges Klima auf dem ganzen Planeten, wie es einst auf der Erde in ihren wärmsten Zeiten gewesen ist.

Auf der Venus ist die Temperatur nicht so hoch, daß nicht eine kräftige Vegetation gedeihen könnte. Die überall, während des ganzen Jahres, gleichbleibende Wärme macht Anpassungen an etwaige stark veränderte Lebensbedingungen unnötig. Darum werden dort die Lebewesen, wohl hauptsächlich Pflanzen, auf einer niedrigen Entwicklungsstufe stehen geblieben und auf dem ganzen Planeten ziemlich gleichartig sein. Die hohe Wärme bewirkt auch eine sehr lebhaftete Umsetzung in den Organismen und diese werden wahrscheinlich darum kurzlebig sein. Die toten Körper werden schnell verwesen und die Luft mit ersticken-den Dünsten füllen. Die von den Wasserfluten in den Schlamm niedergeführten und eingebetteten toten Teile werden schnell zu kleinen Klumpen verkohlt, die durch Überlagerung von weiteren Schlammschichten unter dem hohen Druck und der hohen Temperatur in Graphitkörner umgewandelt werden. Eine eigentliche Fossilienbildung findet auf der Venus ebensowenig statt, wie auf der Erde zu ihren ältesten Zeiten.

Wahrscheinlich sind jedoch die Pole der Venus in dieser Hinsicht etwas günstiger gestellt, indem die Temperatur da etwas gesunken ist, möglicherweise um  $10^{\circ}$  unter die mittlere Temperatur des Planeten. Die Bedingungen

für die Entwicklung der Organismen zu höheren Formen sind da eher erfüllt als auf den anderen Teilen des Planeten. Von da wird sich der Fortschritt und die Kultur, wenn man sich so ausdrücken darf, weiter bis zum Äquator verbreiten. Allmählich wird die Temperatur weiter sinken, die dichten Wolken und das Dunkel werden sich aufhellen, und einstens, wenn vielleicht das Leben auf der Erde zu den einfachsten Formen zurückgekehrt oder vielleicht schon ganz erloschen sein wird, werden dort Pflanzen- und Tierformen auftreten, wie sie hier auf Erden unser Auge erfreuen. Und die Venus wird die „Himmelskönigin“ sein, wie die Babylonier sie genannt haben, nicht bloß wegen ihres strahlenden Glanzes, sondern als der mit den höchsten lebenden Wesen begabte Planet in unserem Sonnensystem.

Die Alten glaubten, daß man die Schicksale der Menschen aus den Sternen ablesen könne, und dieser Glaube herrschte, kräftig wie eine Religion, bis vor einigen wenigen Jahrhunderten. Hervorragende Sternkundige bekannten sich zu ihm; Tycho Brahe suchte ihn durch wissenschaftliche Beobachtungen zu stützen. In den Vorstellungen des Volkes finden sich noch starke Spuren davon. In einer gewissen Art, aber in einem von den Vorstellungen unserer Vorfahren gänzlich abweichenden Sinne, hat dieser Glaube jetzt eine Bestätigung gefunden. Nicht die Schicksale der einzelnen Menschen, wohl aber das der Erdbewohner, von den ersten Zeiten an, da das Leben aufzudämmern begann, kann man aus den Planeten ablesen und man kann ihnen die Voraussage der Schicksale ablocken, von denen, wenn auch erst nach Milliarden Jahren, die Nachkommenschaft der jetzt lebenden Geschöpfe betroffen sein wird.

Andere Träume unserer Väter, nämlich die von der Bewohnbarkeit der anderen Welten unseres Sonnensystems, sind aber in keiner Weise eingetroffen. Nach des großen Kant Meinung wären die Lebensbedingungen auf den jenseits der Erdbahn kreisenden Planeten so viel günstiger als auf der Erde, daß auf jenen weit höher entwickelte

Wesen lebten als hier. Den letzten Ausläufer solchen Glaubens haben wir in dem Traume von den außerordentlich klugen Ingenieuren, den Schöpfern der großartigen Systeme von Riesenkanälen auf dem Mars. Die eingehendsten Forschungen haben gezeigt, daß kaum ein anderer Planet unseres Sonnensystems, als gerade die Erde, eine Heimstätte für hoch entwickelte Geschöpfe sein kann, und wir dürfen sie darum mit Recht als „die beste der Welten“ bezeichnen, die wir kennen. Doch hat Giordano Bruno sicherlich für eine große Wahrheit den Tod erlitten. Denn es ist höchst wahrscheinlich, ja so gut als gewiß, daß viele Sonnen, die uns aus den Himmelsräumen herniederleuchten, von dunklen Weltkörpern umkreist werden. Wir können sie leider auch mit den schärfsten Fernrohren nicht erblicken. Unter diesen wird es manche geben, die Leben, vielleicht selbst auf höherer Entwicklungsstufe, als das irdische, stehendes Leben bergen.

---

Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. in Leipzig

Werke von  
**WILHELM OSTWALD:**

**Abhandlungen und Vorträge** allgemeinen Inhalts.  
Geheftet M. 9.60.

Inhalt: Allgemeine und physikalische Chemie; Elektrochemie; Energetik und Philosophie; Technik und Volkswirtschaft; Biographie.

**Elektrochemie**, ihre Geschichte und Lehre.

Mit 260 Abbildgn. Geheftet M. 33.60, gebd. M. 38.40.

**Die Forderung des Tages**. 2. Aufl. Geheftet M. 11.15, gebunden M. 13.15.

Inhalt: Die Forderung des Tages. — Allgemeine Energetik. Methodik. — Psychologie und Biographie. — Allgemeine Kulturprobleme. Die internationale Hilfssprache. — Unterrichtswesen. — Nach Stockholm.

**Der energetische Imperativ**. Geheftet M. 11.50, gebunden M. 14.10.

Inhalt: Philosophie. — Organisation und Internationalismus. — Pazifismus. — Unterrichtswesen. — Biographie.

**Ein Jahrzehnt Naturphilosophie.**

(Annalen der Naturphilosophie. Band IX—XI.) 3 Bände. Jeder Band geheftet M. 9.60, gebunden M. 12.—.

**Lehrbuch der allgemeinen Chemie**. 2. Aufl.

I. Band: Stöchiometrie. Geh. M. 33.60, gebd. M. 39.—.

II. Band, 1. Teil: Chemische Energie. Geh. M. 40.80, gebunden M. 46.20.

II. Band, 2. Teil: Verwandtschaftslehre (1).

Geheftet M. 34.80, gebunden M. 40.20.

II. Band, 3. Teil: Verwandtschaftslehre (2). Geh. M. 8.40.

**Moderne Naturphilosophie**. I. Die Ordnungswissenschaften. Geheftet M. 14.40, gebunden M. 17.—.

**Monumentales und dekoratives Pastell.**

Geheftet M. 2.90, gebunden M. 4.10.

**Prinzipien der Chemie**. Eine Einleitung in alle chemischen Lehrbücher. Geheftet M. 9.60, gebd. M. 12.—.

**Monistische Sonntagspredigten**. Bibliothek-Ausgabe.

I—III. Reihe. Geheftet je M. 3.60, gebunden je M. 5.—.

Volksausgabe. II. u. III. Reihe. Geheftet je M. 1.20.

**Werdegang einer Wissenschaft**. 7 gemeinverständliche Vorträge aus der Geschichte der Chemie.

Geheftet M. 7.90, gebunden M. 10.10.

ipzig

**D:**

halts.

hemie;  
phie.

3.40.  
1.15,

ik. —  
bleme.  
cholm.  
1.50,

us. —

inde.

), —.  
), 80,

3.40.  
sen-

che-  
), —.  
abe.  
), —.  
)  
änd-